

**PERBANDINGAN TEKNIK ANALISIS CANNY *EDGE DETECTION*
DENGAN *SOFTWARE IMAGE RASTER OPTILAB CAMERA*
MICROSCOPE PADA PENGUKURAN DIAMETER *CORE* SERAT OPTIK
PLASTIK SH.4001-1.3**

SKRIPSI

Diajukan Kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Guna
Memperoleh Gelar Sarjana S-1 Sains



**Disusun oleh:
Riva Fauzia
NIM 13306141040**

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
2018**

LEMBAR PERSETUJUAN

Tugas Akhir Skripsi dengan Judul

**PERBANDINGAN TEKNIK ANALISIS CANNY *EDGE DETECTION*
DENGAN *SOFTWARE IMAGE RASTER OPTILAB CAMERA*
MICROSCOPE PADA PENGUKURAN DIAMETER CORE SERAT OPTIK
PLASTIK SH.4001-1.3**

Disusun oleh :

Riva Fauzia

NIM 13306141040

Telah memenuhi syarat dan disetujui oleh Dosen Pembimbing untuk dilaksanakan
Ujian Tugas Akhir Skripsi bagi yang bersangkutan.

Yogyakarta, 2 Juli 2018

Mengetahui,
Ketua Program Studi Fisika

Nur Kadarisman, M.Si.
NIP 196402051991011001

Menyetujui,
Dosen Pembimbing

Agus Purwanto, M. Sc.
NIP. 19650813 199512 1 001

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir Skripsi

**PERBANDINGAN TEKNIK ANALISIS CANNY EDGE DETECTION
DENGAN SOFTWARE IMAGE RASTER OPTILAB CAMERA
MICROSCOPE PADA PENGUKURAN DIAMETER CORE SERAT OPTIK
PLASTIK SH.4001-1.3**



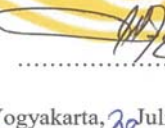
Disusun oleh:

Riva Fauzia

NIM. 13306141040

Telah dipertahankan di depan TIM Penguji Akhir Skripsi Program Studi Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta
Yogyakarta pada tanggal 10 Juli 2018.

TIM PENGUJI

Nama/ Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
<u>Agus Purwanto, S.Si.,M.Sc.</u>		19 / 7 - 2018
Ketua Penguji/Pembimbing		
<u>Dr. Kuncoro Asih Nugroho,</u>		13 / 7 2018
<u>M. Pd., M. Sc.</u>		
Sekretaris		
<u>Dr. Heru Kuswanto, M. Si.</u>		12 / 7 2018

Yogyakarta, 20 Juli 2018
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Yogyakarta

Dekan,


Dr. Hartono

NIP. 19620329 198702 1 002

SURAT PERNYATAAN

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Riva Fauzia

NIM : 13306144017

Program Studi : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **“PERBANDINGAN TEKNIK ANALISIS CANNY *EDGE DETECTION* DENGAN *SOFTWARE IMAGE RASTER OPTILAB CAMERA MICROSCOPE* PADA PENGUKURAN DIAMETER *CORE* SERAT OPTIK PLASTIK SH.4001-1.3”** ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata tulis karya ilmiah yang telah lazim.

Yogyakarta, 2 Juli 2018
Yang menyatakan



Riva Fauzia
NIM. 13306141040

MOTTO

Ilmu pengetahuan bukanlah yang dihafal, melainkan yang memberi manfaat (Imam Syafi'i)

Maka sesungguhnya bersama kesulitan itu akan ada kemudahan. Sesungguhnya bersama kesulitan itu akan ada kemudahan (QS. Al-Insyirah 5-6)

PERSEMBAHAN

Karya ini kupersembahkan untuk Bapak dan Ibu, terima kasih atas kesabaran, dukungan, teladan, motivasi, kasih sayang dan doanya. Kakakku, terima kasih atas dukungan dan motivasinya.

**PERBANDINGAN TEKNIK ANALISIS CANNY *EDGE DETECTION*
DENGAN SOFTWARE IMAGE RASTER OPTILAB CAMERA
MICROSCOPE PADA PENGUKURAN DIAMETER *CORE* SERAT OPTIK
PLASTIK SH.4001-1.3**

Oleh:

Riva Fauzia

NIM. 13306141040

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui cara mengukur diameter *core* serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 menggunakan *digital image processing* melalui metode Canny *edge detection* serta membandingkan hasilnya dengan pengukuran menggunakan *imaging software* Image Raster pada *Optilab Camera Microscope*.

Serat optik yang digunakan dalam penelitian ini yaitu serat optik plastik tipe SH.4001-1.3. Serat optik tersebut dihilangkan bagian *jacket*-nya kemudian diamati menggunakan mikroskop cahaya yang terhubung dengan *Optilab Camera Microscope*. Serat optik diletakkan di atas meja benda mikroskop, kemudian citra serat optik diambil menggunakan *Optilab Camera Microscope* seri *Advance* dengan dua variasi perbesaran lensa objektif mikroskop yaitu 4x dan 10x. Intensitas cahaya yang digunakan dalam penelitian ini dibuat konstan yaitu sebesar 64.000 dB. Pengukuran diameter *core* serat optik plastik SH.4001-1.3 dilakukan menggunakan citra yang disimpan dalam komputer laptop dan dilakukan dengan dua metode yakni pengukuran langsung dengan *imaging software* Image Raster dan *analisis image processing: Canny edge detection*.

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh nilai diameter *core* serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 menggunakan *digital image processing* melalui metode Canny *edge detection* sebesar $(982 \pm 2) \mu\text{m}$. Pengukuran diameter *core* serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 menggunakan *imaging software* Image Raster menghasilkan nilai $(982 \pm 6) \mu\text{m}$ dan ukuran diameter *core* serat optik SH.4001-1.3 berdasarkan *datasheet* yaitu $980 \mu\text{m}$. Pengukuran melalui metode Canny *edge detection* memberikan hasil yang relatif lebih akurat dibandingkan dengan pengukuran menggunakan *imaging software* Image Raster karena metode Canny *edge detection* memberikan batasan-batasan yang jelas tentang tepi antara *core* dan *cladding*.

Kata kunci: *core* serat optik plastik, Canny *edge detection*, *Optilab Camera Microscope*, *digital image processing*.

**COMPARISON OF CANNY EDGE DETECTION ANALYSIS
TECHNIQUES WITH IMAGE RASTER SOFTWARE OF OPTILAB
CAMERA MICROSCOPE ON MEASUREMENT OF CORE DIAMETER
OF POLYMER OPTICAL FIBER TYPE SH.4001-1.3**

By:

Riva Fauzia

NIM. 13306141040

ABSTRACT

This study aimed to find out how to measure the diameter of SH.4001-1.3 plastic optical fiber core by using digital image processing through Canny edge detection method and comparing the results with measurement using Image Raster on Optilab Camera Microscope.

Optical fiber used in this research was polymer optical fiber type SH.4001-1.3. The jacket of optical fiber was removed and then observed using a light microscope connected to Optilab Camera Microscope. Optical fiber was placed on the table of the microscope's object, then the optical fiber image was taken using Optilab Camera Microscope Advance series with two variation of lens magnification of objective lens which were 4x and 10x. The intensity of light used in this study was made constant equal to 64.000 dB. Measurement of diameter core polymer optical fiber SH.4001-1.3 was done using the image stored in laptop computer using two methods which were direct measurement with imaging software (Image Raster) and image processing analysis: Canny edge detection.

Based on the research result obtained, the value of diameter of polymer optical fiber SH.4001-1.3's core using Canny edge detection was $(982 \pm 2) \mu\text{m}$. The measurement result using Image Raster was $(983 \pm 7) \mu\text{m}$ and the diameter of SH.4001-1.3 polymer optical fiber based on datasheet was $980 \mu\text{m}$. The measurement using digital image processing through the Canny edge detection method provided relatively more accurate result than the measurement using Image Raster because Canny edge detection method provided clear boundaries of the edge between the core and cladding.

Keywords: core of polymer optical fiber, Canny edge detection, Optilab Camera Microscope, digital image processing

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga pada akhirnya penulis mampu menyelesaikan penyusunan skripsi “Perbandingan Teknik Analisis *Canny Edge Detection* dengan *Software Image Raster Optilab Camera Microscope* Pada Pengukuran Diameter *Core* Serat Optik Plastik SH.4001-1.”.

Penyelesaian skripsi ini tidak akan berhasil tanpa bantuan berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Hartono selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta yang telah mengesahkan skripsi ini.
2. Yusman Wiyatmo, M. Si. selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika dan Nur Kadarisman, M. Si. selaku Kaprodi Fisika FMIPA UNY dan Dosen Penasehat Akademik yang telah membantu dalam hal administrasi skripsi ini serta memberikan motivasi dan pengarahan selama masa studi.
3. Agus Purwanto, M. Sc. selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah banyak memberikan semangat, dorongan, dan bimbingan selama penyusunan Tugas Akhir Skripsi ini.
4. Dr. Heru Kuswanto, M. Si. dan Dr. Kuncoro Asih Nugroho, M. Pd., M. Sc. selaku tim penguji yang telah menguji dan memberikan masukan guna kesempurnaan penelitian.
5. Seluruh pihak-pihak yang telah membantu dan mendukung penyusunan skripsi ini terkhusus Tim Elins 2013.

Semoga segala bantuan yang telah diberikan kepada penulis menjadi amalan yang bermanfaat dan Allah SWT memberikan balasan yang terbaik serta semoga Tugas Akhir Skripsi ini menjadi informasi yang bermanfaat bagi pembaca atau pihak lain yang membutuhkannya. Penulis menyadari skripsi ini masih terdapat kekurangan dan kelemahan dalam penulisannya. Oleh karena itu, kritik

dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini.

Yogyakarta, 2 Juli 2018

Yang menyatakan

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Riva Fauzia', with a stylized, cursive script.

Riva Fauzia

NIM. 13306141040

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
SURAT PERNYATAAN	Error! Bookmark not defined.
MOTTO	v
PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	i
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Identifikasi Masalah	4
C. Batasan Masalah	5
D. Rumusan Masalah	5
E. Tujuan Penelitian	5
F. Manfaat Penelitian	6
BAB II KAJIAN TEORI.....	7
A. MIKROSKOP	7
B. SERAT OPTIK	30

C. CITRA DIGITAL.....	32
BAB III METODE PENELITIAN	43
A. Waktu dan Tempat Penelitian	43
B. Objek Penelitian	43
C. Variabel Penelitian	43
D. Instrumen Penelitian	44
E. Desain Penelitian dan Skema Susunan Alat Penelitian.....	45
F. Prosedur Penelitian	46
G. Teknik Analisis Data.....	i
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	i
A. Pengukuran Diameter <i>Core</i> Kabel Serat Optik Plastik Tipe SH.4001-1.3 Menggunakan <i>Imaging Software</i> Image Raster	60
B. Pengukuran Diameter <i>Core</i> Kabel Serat Optik Plastik Tipe SH.4001-1.3 Menggunakan Analisis <i>Image Processing</i> dengan Metode <i>Canny Edge Detection</i>	68
C. Perbandingan Hasil Pengukuran Diameter Core Serat Optik Plastik Tipe SH.4001-1.3 dengan Menggunakan <i>Imaging Software</i> Image Raster dan Analisis <i>Image Processing</i> dengan Metode <i>Canny Edge Detection</i> 79	
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	83
A. KESIMPULAN.....	83
B. SARAN	84
DAFTAR PUSTAKA	85
LAMPIRAN.....	88

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Tabel Syarat-Syarat Yang Harus Dipenuhi Dalam Supresi Non Maksimum	42
Tabel 3.1.	<i>Datasheet</i> Serat Optik Plastik SH.4001-1.3.....	53
Tabel 4.1.	Data Kalibrasi <i>Imaging Software</i> Image Raster	61
Tabel 4.2.	Tabel 4.2.Penentuan Hasil Pengukuran Diameter <i>Core</i> Serat Optik Plastik SH.4001-1.3 Menggunakan <i>Software Imaging</i> Image Raster Pada Perbesaran Lensa Objektif 4x.....	64
Tabel 4.3.	Tabel 4.2.Penentuan Hasil Pengukuran Diameter <i>Core</i> Serat Optik Plastik SH.4001-1.3 Menggunakan <i>Software Imaging</i> Image Raster Pada Perbesaran Lensa Objektif 10x.....	67
Tabel 4.4.	Tabel Hasil Kalibrasi Nilai Piksel Menggunakan Mikrometer Objektif Dengan Perbesaran Lensa Objektif.....	70
Tabel 4.5	Tabel Hasil Analisis <i>Edge Detection</i> Serat Optik Plastik SH.4001-1.3 Dengan Perbesaran Lensa Objektif 4x.....	73
Tabel 4.6.	Tabel Hasil Kalibrasi Nilai Piksel Menggunakan Mikrometer Objektif Dengan Perbesaran Lensa Objektif 10x.....	76
Tabel 4.7.	Tabel Hasil <i>Analisis Edge</i> Detection Serat Optik Plastik SH.4001-1.3 Dengan Perbesaran Lensa Objektif 10x	78
Tabel 4.8.	Tabel Perbandingan Hasil Pengukuran Diameter <i>Core</i> Serat Optik Plastik SH.4001-1.3 dengan Dua Metode	80

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Aberasi Cahaya Pada Kaca Penutup	10
Gambar 2.2.	Apertometer Abbe	12
Gambar 2.3.	Koordinat Untuk Vektor dan Formulasi Matriks	17
Gambar 2.4.	Koordinat Untuk Sistem Dua Lensa Tipis	22
Gambar 2.5.	Ilustrasi Prinsip Kerja Kaca Pembesar	25
Gambar 2.6.	Pembentukan Bayangan Oleh Mikroskop	29
Gambar 2.7.	Struktur Serat Optik Plastik	31
Gambar 2.8.	Ilustrasi <i>RGB Color Cube</i>	39
Gambar 3.1.	Bagan Kerangka Berpikir	48
Gambar 3.2.	Desain Alat Penelitian	49
Gambar 3.3.	Skema Pengukuran Nilai Bukaan Numerik (NA) Lensa Objektif Mikroskop	50
Gambar 3.4.	Kalibrasi Image Raster	54
Gambar 3.5.	Citra Serat Optik Plastik SH.4001-1.3 Pada Format Warna RGB	57
Gambar 3.6.	Citra Serat Optik Plastik SH.4001-1.3 Pada Format Warna <i>Grayscale</i>	57
Gambar 3.7.	Citra Serat Optik Plastik Tipe SH.4001-1.3 Hasil <i>Edge Detection</i>	58
Gambar 3.8.	Citra Serat Optik Plastik Tipe SH.4001-1.3 Hasil <i>Rotating</i>	59
Gambar 3.9.	Citra Serat Optik Plastik Tipe SH.4001-1.3 Hasil <i>Cropping</i>	59
Gambar 4.1.	Citra Serat Optik Plastik Tipe SH.4001-1.3 Pada Format Warna RGB	62

Gambar 4.2.	Hasil Pengukuran Diameter <i>Core</i> Serat Optik Plastik SH.4001-1.3 Menggunakan <i>Software</i> Image Raster dengan Perbesaran Lensa Objektif 4x	64
Gambar 4.3.	Hasil Pengukuran Diameter <i>Core</i> Serat Optik Plastik SH.4001-1.3 Menggunakan <i>Software</i> Image Raster dengan Perbesaran Lensa Objektif 10x	65

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I.	Pengukuran Berulang Diameter <i>Core</i> Serat Optik Plastik SH.4001-1.3 Menggunakan <i>Software Imaging</i> Image Raster Pada Perbesaran Lensa Objektif 4x.....	88
Lampiran II.	Pengukuran Berulang Diameter <i>Core</i> Serat Optik Plastik SH.4001-1.3 Menggunakan <i>Software Imaging</i> Image Raster Pada Perbesaran Lensa Objektif 10x.....	90
Lampiran III.	Tabel Hasil Kalibrasi Nilai Piksel Citra Mikrometer Objektif Pada Perbesaran Lensa Objektif 4x.....	91
Lampiran IV.	Tabel Perhitungan Nilai Diameter <i>Core</i> Serat Optik Plastik SH.4001-1.3 Menggunakan Analisis Canny <i>Edge Detection</i> Pada Perbesaran Lensa Objektif 4x.....	93
Lampiran V.	Tabel Hasil Kalibrasi Nilai Piksel Citra Mikrometer Objektif Pada Perbesaran Lensa Objektif 10x.....	95
Lampiran VI.	Tabel Perhitungan Nilai Diameter <i>Core</i> Serat Optik Plastik SH.4001-1.3 Menggunakan Analisis Canny <i>Edge Detection</i> Pada Perbesaran Lensa Objektif 10x.....	96

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Perkembangan teknologi telekomunikasi sekarang ini mengalami kemajuan sangat cepat. Ini diakibatkan adanya permintaan dan peningkatan kebutuhan akan informasi, yang terus memacu para pengembang untuk memberikan suatu media transmisi yang dapat diandalkan dari segi kualitas sinyal, waktu akses (*no delay*), keamanan data, daerah cakupan penerimaan yang luas maupun harga jual yang kompetitif (Leza, 2011: 1). Banyak penemuan yang dihasilkan oleh ilmuwan dalam memenuhi permintaan untuk mentransmisikan data yang besar pada jarak yang sangat jauh, salah satunya adalah serat optik. Serat optik pertama kali diperkenalkan oleh Charles Kao, yang telah mendapatkan hadiah Nobel untuk kategori Fisika tahun 2009 karena penemuannya telah mengubah dunia telekomunikasi. Ia mengusulkan bahwa cahaya dapat ditransmisikan lewat kabel, di mana kabel tersebut berisi lapisan silika yang dapat menghantarkan cahaya (Djohan, 2009). Serat optik merupakan media transmisi atau pandu gelombang cahaya berbentuk silinder yang dikembangkan di akhir tahun 1960-an sebagai jawaban atas perkembangan sistem komunikasi yang semakin lama membutuhkan *bandwidth* yang besar dengan laju transmisi yang tinggi (Suematzu and Iga, 1982: 170).

Penggunaan serat optik juga berkembang pesat di Indonesia. Hal ini ditandai dengan adanya pembangunan jaringan serat optik yang diberi nama *Palapa Ring*

Project. Palapa Ring merupakan proyek infrastruktur telekomunikasi berupa pembangunan serat optik di seluruh Indonesia sepanjang 36.000 kilometer. Proyek itu terdiri atas tujuh lingkaran kecil serat optik (untuk wilayah Sumatera, Jawa, Kalimantan, Nusa Tenggara, Papua, Sulawesi, dan Maluku) dan satu *backhaul* untuk menghubungkan semuanya. Jaringan tersebut berkapasitas 100 GB (*Upgradeable* 160 GB) dengan mengusung konsep ring, dua *pair* (empat *core*) (diakses melalui <https://kominfo.go.id> pada Minggu 3 September 2017 pukul 16.15 WIB).

Serat optik merupakan saluran transmisi yang terbuat dari kaca atau plastik yang digunakan untuk mentransmisikan sinyal cahaya dari suatu tempat ke tempat lain. Berdasarkan mode yang dirambatkan, serat optik dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu *singlemode* dan *multimode*. Dilihat dari segi strukturnya serat optik *singlemode* merupakan teknologi serat optik yang bekerja menggunakan inti (*core*) yang berukuran sangat kecil yaitu berkisar antara 8 sampai 10 μm . Karena ukuran diameter *core* yang sangat kecil, maka sinar yang mampu dilewatkan hanya satu mode sinar dengan panjang gelombang 1310 nm sampai 1550 nm. Secara teori serat optik *singlemode* hanya dapat mentransmisikan sinyal dalam satu mode, pada mode utama, maka serat *singlemode* dapat mencegah terjadinya dispersi kromatik. Oleh karena itu serat optik *singlemode* cocok untuk kapasitas besar dan komunikasi fiber optik jarak jauh. Serat optik *multimode* memiliki diameter yang lebih besar dari serat optik *singlemode*. Dilihat dari segi strukturnya, serat optik *multimode* secara umum memiliki ukuran diameter *core* berkisar antara 50 μm sampai dengan 100 μm .

Serat optik *multimode* mampu mentransmisikan data dengan *bandwidth* yang lebih lebar, berkecepatan tinggi namun pada jarak menengah. Ukuran *core* yang besar dan NA (*Numerical Aperture*) yang tinggi membawa beberapa keuntungan, yaitu sinar informasi akan bergerak dengan lebih bebas di dalam kabel serat optik tersebut. Ukuran besar dan NA tinggi juga mempermudah dalam melakukan penyambungan *core* tersebut jika perlu disambung.

Secara struktural kabel serat optik, baik serat optik *singlemode* maupun *multimode*, terdiri dari beberapa bagian yaitu *core*, *cladding*, dan *jacket*. Serat optik menggunakan cahaya sebagai medium untuk mentransmisikan data. Perambatan cahaya pada serat optik terjadi di dalam *core*. Oleh karena itu, *core* merupakan bagian terpenting di dalam serat optik dan akurasi ukuran diameternya sangat diperlukan.

Sejauh ini, pengukuran diameter *core* kabel serat optik plastik masih relatif sulit untuk dilakukan. Pengukuran tersebut dapat dikatakan rumit dan membutuhkan peralatan yang relatif lebih banyak. Salah satunya yaitu dengan menggunakan pola medan jauh. Teknik *Far-Field Pattern* (pola medan jauh) mampu mengukur diameter bidang serat optik single mode melalui sebaran intensitas yang dideteksi dengan detektor (Young, 1998: 5605). Teknik pengukuran diameter *core* kabel serat optik plastik menentukan hasil pengukuran yang diperoleh, padahal *core* dari kabel serat optik merupakan bagian terpenting dari kabel serat optik tersebut.

Teknik pengukuran diameter *core* kabel serat optik plastik dapat dilakukan dengan memanfaatkan citra yang ditangkap oleh kamera mikroskop. Karena

diameter *core* kabel serat optik plastik berukuran mikron, maka dibutuhkan mikroskop untuk membantu proses pengukuran. Citra kabel serat optik plastik hasil tangkapan kamera mikroskop diolah dengan menggunakan program algoritma matematis dengan metode deteksi tepi. Metode deteksi tepi ini dapat menampilkan batas antara *core* dan *cladding* pada kabel serat optik plastik. Dengan demikian pengukuran diameter *core* serat optik plastik dapat ditentukan dengan metode yang jauh lebih sederhana namun hasilnya tetap akurat.

Oleh karena itu, berdasarkan latar belakang yang telah terurai, pada penelitian ini akan dilakukan pengukuran diameter *core* serat optik. Serat optik yang digunakan dalam penelitian ini adalah serat optik plastik tipe SH-4001-1.3. Penentuan diameter *core* serat optik ini menggunakan beberapa metode yaitu dengan *imaging software* Image Raster dan teknik deteksi tepi dengan operator Canny melalui *software* Matlab R2013a.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah seperti diuraikan di atas, maka diidentifikasi beberapa permasalahan berikut:

1. Sangatlah penting untuk mengetahui ukuran diameter *core* kabel serat optik karena perambatan cahaya yang merupakan medium untuk mentransmisikan data terjadi di dalam *core* kabel serat optik.
2. Perlunya metode yang dapat digunakan untuk menentukan ukuran diameter *core* kabel serat optik yang akurat, efektif, dan efisien sesuai dengan perkembangan teknologi.

C. Batasan Masalah

Agar masalah yang muncul dapat diselesaikan dengan baik dan penelitian ini mencapai tujuan, maka diperlukan batasan masalah meliputi:

1. Pengukuran diameter core serat optik menggunakan serat optik plastik tipe SH.4001-1.3.
2. Pengukuran diameter *core* serat optik menggunakan *Optilab Camera Microscope* dengan bantuan Image Raster dan *digital image processing*.
3. Analisis dengan metode *digital image processing* menggunakan *software* Matlab R2013a.

D. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah

1. Bagaimana cara mengukur diameter *core* serat optik menggunakan *digital image processing* melalui metode *Canny edge detection*?
2. Bagaimana hasil pengukuran diameter *core* serat optik menggunakan Image Raster pada *Optilab Camera Microscope* dan dibandingkan dengan analisis menggunakan *digital image processing*?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Untuk mengetahui cara mengukur diameter *core* serat optik menggunakan *digital image processing* melalui metode *Canny edge detection*.

2. Untuk mengetahui hasil pengukuran diameter *core* serat optik menggunakan *Image Raster* pada *Optilab Camera Microscope* dan dibandingkan dengan analisis menggunakan *digital image processing*.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah

1. Memberikan pengetahuan tentang pemanfaatan *digital image processing* terutama teknik analisis *Canny edge detection* dapat digunakan untuk mengukur diameter suatu bidang yang berukuran mikrometer.
2. Dapat mengaplikasikan metode analisis dengan bantuan *digital image processing* untuk pengukuran lain yang tidak dapat diukur secara langsung.
3. Sebagai acuan atau referensi untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

KAJIAN TEORI

A. MIKROSKOP

Microscope (dari bahasa Yunani Kuno, *mikros* yang berarti 'kecil' dan *skopein* yang berarti 'melihat') merupakan sebuah alat yang digunakan untuk melihat objek yang terlalu kecil untuk mata telanjang (Sushmasusik and Hayath, 2015: 171). Selama abad ke-1, orang-orang Romawi bereksperimen dengan berbagai bentuk kaca bening. Mereka menemukan bahwa dengan menggunakan sebuah benda berupa kaca bening yang lebih tebal di bagian tengah daripada di tepinya, bisa membuat benda itu tampak lebih besar. Mereka juga menggunakan lensa untuk memfokuskan sinar matahari dan menyalakan api. Pada akhir abad ke-13, pembuat kacamata memproduksi lensa untuk dipakai sebagai kacamata untuk memperbaiki kekurangan dalam penglihatan. Kata lensa berasal dari kata Latin yaitu *lentil*, karena potongan kaca pembesar ini serupa bentuknya dengan kacang lentil. Pada tahun 1590, dua pembuat kacamata dari Belanda, Zaccharias Janssen dan ayahnya, Hans, mulai bereksperimen dengan lensa. Mereka memasang beberapa lensa di sebuah tabung, menghasilkan perbesaran yang jauh lebih besar daripada yang dimungkinkan dengan satu lensa. Hal tersebut menyebabkan penemuan mikroskop majemuk dan teleskop (Zhou and Wong, 2006: 138).

Mikroskop merupakan sebuah instrumen optik yang dirancang untuk mengamati benda-benda yang ukurannya relatif kecil (mikroskopik). Hal ini membantu mempermudah pengamatan dan pengukuran benda-benda yang

ukurannya mikroskopik. Dalam bentuk dasarnya, mikroskop terdiri dari dua lensa positif yang sejajar. Lensa positif yang sejajar tersebut terdiri dari sebuah lensa benda (objektif) dimana posisinya lebih dekat ke objek atau spesimen, dan sebuah lensa mata (okuler) yang posisinya lebih dekat ke mata pengamat. Mikroskop majemuk mencapai pembesaran dua tahap (Abramowitz, 2003:5).

Mikroskop terdiri dari beberapa komponen penting. Komponen mikroskop tersebut terdiri dari komponen optik dan komponen mekanik/elektrik.

1. Komponen Optik Mikroskop

Komponen optik mikroskop terdiri dari lensa objektif, lensa okuler, dan kondensor.

a. Lensa Objektif

Lensa objektif merupakan salah satu komponen penting pada mikroskop cahaya (Keller, 1995: 145). Kualitas gambar yang diamati ditentukan oleh lensa obyektif. Raith et al (2012: 6) menyatakan bahwa lensa obyektif merupakan komponen penting dalam mikroskop, bertanggung jawab atas gambar utama, perbesarannya dan resolusi di mana rincian halus suatu benda dapat diamati. Lensa objektif berfungsi untuk membentuk bayangan nyata yang diperbesar pada bidang gambar di dekat lensa okular (Abramowitz, 2003: 16).

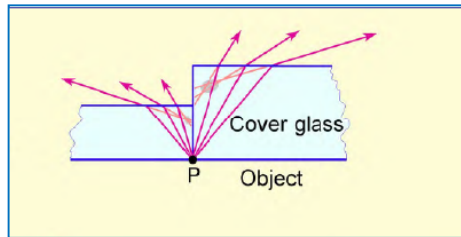
Hal yang penting dari lensa objektif adalah perbesarannya, *numerical aperture* (NA), dan tingkat koreksi aberasi. *Numerical*

aperture (NA) dan tingkat koreksi aberasi pada lensa objektif menentukan kualitas gambar yang dihasilkan dari mikroskop.

1) Aberasi

Lensa *biconvex* yang sederhana menghasilkan gambar yang tidak sempurna dan terdistorsi sehingga menyebabkan aberasi sferis dan aberasi kromatik. Pada lensa objektif yang modern, aberasi/penyimpangan tersebut diatasi dengan lensa konvergen dan divergen yang terbuat dari bahan dengan indeks bias dan dispersi yang berbeda. Aberasi yang tersisa akan diatasi oleh lensa okular mikroskop dengan koreksi komplementer.

Pada perbesaran yang tinggi dan bukaan/ *aperture* yang besar, kaca penutup yang tipis menyebabkan aberasi sferis dan aberasi kromatik yang mempengaruhi kualitas gambar. Hal ini disebabkan karena sinar cahaya yang muncul dari titik P dibiaskan pada kaca penutup/ udara. Berdasarkan Gambar 2.1. dapat dilihat bahwa sinar yang diteruskan dari kaca penutup menyebabkan objek menjadi tidak fokus terlihat oleh mata pengamat. Hal ini dapat diketahui apabila garis sinar diperpanjang pada Gambar 2.1, maka objek yang semula berupa titik terlihat menjadi daerah yang buram akibat dari penyimpangan yang disebabkan oleh kaca penutup preparat.



Gambar 2.1. Aberasi Cahaya Pada Kaca Penutup
(Sumber: Raith *et al* 2012:7)

Apabila kaca penutup dipertebal maka efek kabur/ buram akan menjadi lebih jelas terlihat. Oleh karena itu, lensa objektif yang berkekuatan tinggi akan memperbaiki/ mengoreksi jenis aberasi yang diakibatkan pada kaca penutup tersebut (Raith *et al*, 2012: 6-7).

2) *Numerical aperture*

Gambar mikroskopis dihasilkan melalui interaksi (interferensi) dari gelombang cahaya yang terdifraksi pada sampel/ objek. Interferensi komponen cahaya ini mengarah ke pusat gambar yang berisi semua informasi tentang gambar tersebut. Semakin besar sudut pembuka suatu lensa objektif, maka akan lebih banyak difraksi dari cahaya yang mampu dikumpulkan oleh lensa objektif, sehingga akan semakin tinggi resolusi gambar yang dihasilkan. Korelasi mendasar ini diidentifikasi pertama kali oleh Ernst Abbe di Carl Zeiss pada tahun 1872. Dia mengenalkan konsep aperture numerik (NA) dari sebuah lensa objektif.

Numerical Aperture merupakan nilai kritis yang menunjukkan sudut penerimaan cahaya sehingga menentukan kekuatan lensa untuk mengumpulkan cahaya, daya urai (*resolving power*), dan rentang jarak ketajaman dari sebuah objek (Davidson and Abramowitz, 2003: 11).

Numerical aperture (NA) dari lensa objektif merupakan kuantitas cahaya yang diambil oleh lensa objektif tersebut. *Numerical aperture* (NA) sebanding dengan sudut U , dimana sudut U merupakan setengah dari sudut kerucut sinar cahaya yang dipancarkan dari suatu titik pada spesimen yang memasuki objektif (Raith et al, 2012: 7). Hubungan antara perkalian sinus setengah sudut dengan indeks bias disebut *numerical aperture* (NA), dimana

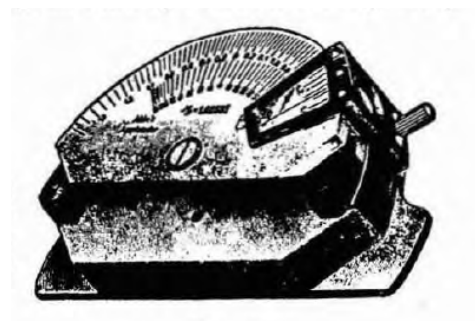
$$NA = n \sin U \quad (2.1)$$

Berdasarkan persamaan (2.1) dapat diketahui bahwa semakin besar sudut kerucut yang dipancarkan (U), maka akan semakin besar pula nilai *numerical aperture* (NA) sehingga akan semakin banyak cahaya yang mampu ditangkap oleh lensa objektif (Piston, 1998:2). Apabila semakin banyak cahaya yang ditangkap oleh lensa objektif, maka gambar dari objek yang diamati pun akan semakin terlihat cerah. Tingkat kecerahan suatu objek yang diamati berbanding terbalik dengan kuadrat bukaan (*f-number*). Selain itu, kecerahan gambar sebanding dengan kuadrat dari nilai *numerical aperture* lensa. Dengan demikian, *numerical aperture* merupakan

salah satu parameter yang penting untuk mendesain sebuah lensa objektif karena mempengaruhi batasan kekuatan dan kedalaman fokus sebuah lensa objektif. Kekuatan lensa sebanding dengan *numerical aperture*, sedangkan kedalaman fokus lensa berbanding terbalik dengan kuadrat dari nilai *numerical aperture* (Pedrotti *et al*, 2012: 81).

a) **Pengukuran Nilai *Numerical Aperture***

Pengukuran nilai NA suatu lensa dapat dilakukan dengan menggunakan apertometer Abbe seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Apertometer Abbe
(Sumber: Johnson, 1960: 90)

Apertometer Abbe merupakan sebuah kaca dengan salah satu tepinya miring 45° . Apertometer Abbe berbentuk setengah lingkaran dan terdapat penutup logam di tengah salah satu sisinya. Garis besar penggunaan apertometer Abbe untuk mengukur nilai NA suatu lensa objektif adalah sebagai berikut:

1. Menempatkan apertometer Abbe di atas meja benda mikroskop.
2. Memusatkan penutup logam (*coverslip*) tepat di bawah lensa objektif.
3. Dengan sumber cahaya yang terang, memfokuskan lensa objektif tepat di garis tengah antara dua lingkaran perak (*coverslip*) apertometer.
4. Memindahkan kursor apertometer ke salah satu sisi apertometer dan membaca nilai NA pada apertometer.
5. Mengulangi langkah nomor 4 untuk sisi apertometer yang lain.
6. Nilai NA suatu lensa merupakan rata-rata dari nilai dua sisi pada apertometer.

b. Lensa Okular

Lensa okular atau *eyepieces* digunakan untuk memperbesar dan melihat bayangan yang dihasilkan oleh objektif (Murphy, 2001: 56).

c. Kondensor

Kinerja pencitraan dengan mikroskop tidak hanya tergantung pada lensa objektif tetapi juga pada sistem pengiriman cahaya, yang meliputi iluminator dan lensa kolektornya, serta salah satu komponen yang penting yaitu kondensor. Kondensor berkinerja tinggi dapat mengoreksi aberasi kromatik dan aberasi sferis pada sistem optik yang dimiliki mikroskop (Murphy, 2001: 56).

Kondensor *substage* dipasang di bawah meja benda pada mikroskop, antara lampu iluminasi dan spesimen. Kondensor diproduksi dengan tingkat koreksi yang berbeda sesuai dengan yang dibutuhkan. Kondensor yang paling sederhana adalah kondensor Abbe, dengan nilai *aperture numerik*-nya sampai 1,25 (Abramowitz, 2003: 21).

2. Komponen Mekanik Mikroskop

Komponen mekanik utama mikroskop terdiri dari *stand* (dasar/pondasi) mikroskop, *body tube* (tabung), *nosepiece* untuk objek, meja benda (meja preparat) serta penjepit preparat.

a. Stand (Dasar/ Pondasi) Mikroskop

Stand (dasar/ pondasi) mikroskop adalah bagian yang menopang *body tube* (tabung), meja benda dan penjepit preparat. Ada tiga jenis *stand*/ dasar utama mikroskop yaitu *upright* (normal/ tegak), terbalik, dan stereo. Dalam tipe tegak, tabung mikroskop terletak di atas meja benda, dan kondensor di bawahnya; jadi spesimen dilihat dari atas dan diterangi dari bawah. Pada mikroskop terbalik situasinya terbalik.

Stand (dasar/ pondasi) harus kuat dan cukup tahan terhadap getaran, baik eksternal maupun yang dihasilkan secara internal, misal oleh *shutter* kamera. Cara terbaik untuk mengatasi getaran eksternal adalah dengan menempatkan seluruh peralatan pada dasar yang berat dan padat (granit dikatakan terbaik) yang dipisahkan dari lingkungan

sekitarnya dengan pegas (seperti kaki karet). Semakin berat dan lebih kaku *stand* (dasar/ pondasi) mikroskop, semakin baik dari segi fotografi.

a. Meja Benda/ Preparat

Meja benda berfungsi untuk meletakkan preparat yang akan diamati. Hal ini mempermudah agar spesimen dipindahkan ke posisi yang akan diamati (Rost and Oldfield, 2012: 14-15).

b. Revolver (*revolving nosepiece*)

Revolver (revolving nosepiece) berfungsi untuk menempatkan lensa objektif (Delfini and Formica, 2001: 19).

c. Sekrup Pemutar Pada Mikroskop

Amiratno and Tortora (2013: 3) mengatakan bahwa mikroskop biasanya memiliki dua sekrup pemutar. Sekrup pemutar tersebut terdiri dari sekrup pemutar kasar (*coarse adjustment knob*) dan sekrup pemutar halus (*fine adjustment knob*). Sekrup pemutar kasar (*coarse adjustment knob*) berfungsi untuk menggerakkan tabung mikroskop secara cepat dari atas ke bawah. Sekrup pemutar halus (*fine adjustment knob*) berfungsi untuk menggerakkan tabung ke arah atas atau bawah secara lambat. Alat ini digunakan jika objek telah terfokus dengan memutar pemutar kasar.

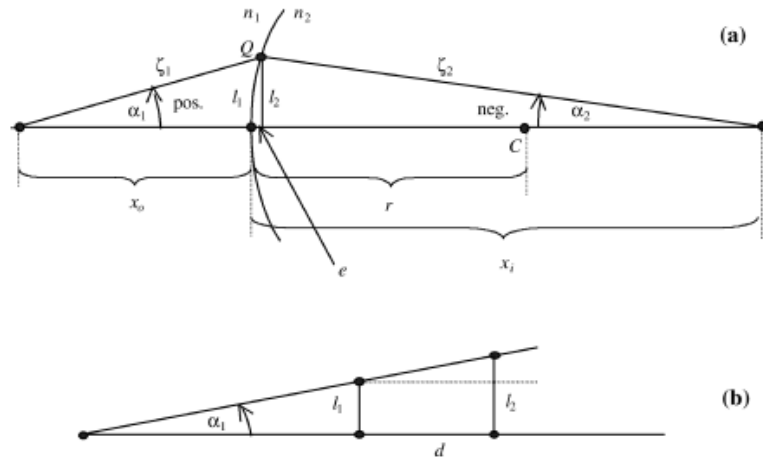
2. Persamaan Matematis Pada Mikroskop

a. Persamaan Matematis Pada Sistem Lensa Mikroskop

Lensa tebal memiliki dua bidang lengkung yang dipisahkan oleh bahan dielektrik sehingga memiliki ketebalan tertentu. Ketebalan suatu

lensa dapat diketahui dengan terlebih dahulu menemukan bayangan yang dihasilkan oleh permukaan pertama. Bayangan yang dihasilkan oleh permukaan pertama merupakan objek untuk permukaan yang kedua sehingga akan dihasilkan bayangan dari permukaan yang kedua. Jarak objek dan jarak bayangan diukur dari “bidang utama”, bukan dari pusat ketebalan lensa. Hal yang harus dipertimbangkan pertama kali adalah proses pembiasan/ refraksi pada permukaan yang pertama (Gambar 2.3). Penggambaran perubahan koordinat objek ke dalam koordinat bayangan pada permukaan lengkung yang pertama dapat digunakan matriks transformasi yang disebut dengan matriks refraksi/ pembiasan. Setelah dibiaskan pada permukaan lengkung yang pertama, cahaya yang melewati sebuah lensa dengan ketebalan tertentu d akan diteruskan sehingga mencapai permukaan yang kedua. Proses tersebut dapat digambarkan dengan matriks translasi. Ketika mencapai permukaan lengkung yang kedua, maka cahaya akan dibiaskan lagi sehingga dapat dioperasikan matrik refraksi/ pembiasan. Metode ini berlaku untuk semua lensa yang memiliki kelengkungan permukaan yang berbeda, ketebalan yang berbeda dan indeks bias yang berbeda. Operasi matematis ini mewakili proses pembiasan pada satu permukaan dan translasi antara dua permukaan dengan matriks dua kali dua. Matriks diturunkan dengan menggunakan teori paraxial, koordinat jarak dihitung dari sumbu titik sinar di permukaan dan sudut

sinar merupakan sudut antara sinar dengan sumbu utama (Gambar 2.3(a)).



Gambar 2.3. Koordinat Untuk Vektor dan Formulasi Matriks
(Sumber: Moller, 2002: 50)

Gambar 2.3(a) menunjukkan perjalanan sinar pada permukaan lengkung suatu lensa. Titik Q berada pada permukaan lengkung lensa. Daerah di sebelah kiri titik Q merupakan daerah dari objek atau bisa disebut dengan koordinat objek, sedangkan daerah pada sebelah kanan titik Q disebut daerah bayangan (koordinat bayangan). Pada titik Q, sinar akan mengalami proses refraksi/pembiasan.

Matriks yang digunakan untuk mewakili proses refraksi/pembiasan dan proses translasi bekerja pada dua koordinat dan ditulis dalam bentuk vektor. Koordinat awal (indeks 1) di bidang objek menghasilkan koordinat (indeks 2) di bidang bayangan. Persamaan pembiasan pada satu permukaan adalah sebagai berikut:

$$-\frac{n_1}{x_o} + \frac{n_2}{x_i} = \frac{(n_2 - n_1)}{r} \quad (2.2)$$

Berdasarkan Gambar 2.3, dengan diasumsikan sinar yang menuju lensa lengkung merupakan sinar paraxial, maka dapat dilihat bahwa $x_o = -\frac{l_1}{\alpha_1}$ dan $x_i = -\frac{l_2}{\alpha_2}$, sehingga persamaan (2.2) dapat ditulis dalam variabel α dan l sebagai berikut

$$\frac{n_1 \alpha_1}{l_1} - \frac{n_2 \alpha_2}{l_2} = \frac{(n_2 - n_1)}{r} \quad (2.3)$$

Selain itu dari Gambar 2.3 dapat diketahui bahwa $l_1 = l_2$. Apabila diasumsikan bahwa vektor \mathbf{I}_1 merupakan koordinat objek sedangkan vektor \mathbf{I}_2 merupakan koordinat bayangan, maka

$$\mathbf{I}_1 = \begin{pmatrix} l_1 \\ \alpha_1 \end{pmatrix} \quad \mathbf{I}_2 = \begin{pmatrix} l_2 \\ \alpha_2 \end{pmatrix} \quad (2.4)$$

dan persamaan (2.3) dapat dituliskan dalam notasi matriks sebagai

$$\begin{pmatrix} l_2 \\ \alpha_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -(1/r)(n_2 - n_1)/n_2 & n_1/n_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} l_1 \\ \alpha_1 \end{pmatrix} \quad (2.5)$$

persamaan (2.5) dapat dituliskan dengan $\mathbf{I}_2 = R_{12} \mathbf{I}_1$ dengan

$$R_{12} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -(1/r)(n_2 - n_1)/n_2 & n_1/n_2 \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

Matriks R_{12} merupakan matriks refraksi pada permukaan lensa yang pertama.

Setelah cahaya memasuki permukaan lensa maka cahaya akan melewati medium yang homogen yakni lensa. Dengan kata lain, cahaya akan mengalami proses translasi dari permukaan lensa yang pertama ke permukaan lensa yang kedua. Berdasarkan Gambar 2.3.(b) dapat diketahui bahwa cahaya ditranslasikan sejauh d , dengan d merupakan ketebalan lensa. Berdasarkan Gambar 2.3.(b) pula dapat

diketahui bahwa koordinat bayangan dapat dituliskan dalam variabel α dan l , yaitu

$$l_2 = l_1 + d\alpha_1 \quad (2.7)$$

serta berdasarkan Gambar 2.2.(a) pada titik Q diketahui bahwa

$$\alpha_2 = \alpha_1 \quad (2.8)$$

Persamaan (2.7) dan (2.8) juga dapat dituliskan dalam bentuk matriks yaitu sebagai berikut

$$\begin{pmatrix} l_2 \\ \alpha_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} l_1 \\ \alpha_1 \end{pmatrix} \quad (2.9)$$

Persamaan (2.9) juga dapat dituliskan dengan $\mathbf{I}_2 = T\mathbf{I}_1$, dimana T merupakan matriks translasi yang bernilai

$$T = \begin{pmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.10)$$

Dengan demikian, maka dapat dirumuskan persamaan matriks untuk sebuah lensa dengan dua permukaan lengkung dengan ketebalan d sebagai berikut

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -(1/r_2)(n_3 - n_2)/n_3 & n_2/n_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -(1/r_1)(n_2 - n_1)/n_2 & n_1/n_2 \end{pmatrix} \quad (2.11)$$

Pada lensa tebal, digunakan matriks refraksi dan translasi seperti pada persamaan (2.11) dengan asumsi bahwa cahaya berasal dari kiri dan urutan matriks dari \mathbf{I}_1 . Dengan kata lain, permukaan pertama diwakili oleh matriks yang paling kanan pada persamaan (2.11). Pada persamaan (2.11), operasi pertama merupakan refraksi/ pembiasan pada permukaan lengkung pertama dan diwakili oleh matriks yang paling kanan. Operasi yang kedua merupakan operasi translasi antar

dua permukaan yang diwakili oleh matriks yang berada di tengah pada persamaan (2.11). Operasi yang terakhir pada perjalanan sinar di sebuah lensa dengan ketebalan d merupakan refraksi/ pembiasan pada permukaan lengkung yang kedua dan diwakili oleh matriks yang paling kiri. Apabila diasumsikan bahwa

$$P_{12} = -(1/r_1)(n_2 - n_1)/n_2$$

$$P_{23} = -(1/r_2)(n_3 - n_2)/n_3$$

maka hasil perkalian matriks dari persamaan (2.11) menjadi

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ P_{23} & n_2/n_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ P_{12} & n_1/n_2 \end{pmatrix} \quad (2.12)$$

Penyederhanaan persamaan (2.12) menghasilkan

$$\begin{pmatrix} 1 & d \\ P_{23} & dP_{23} + n_2/n_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ P_{12} & n_1/n_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 + dP_{12} & d(n_1/n_2) \\ P_{23} + dP_{12}P_{23} + P_{12}(n_2/n_3) & d(n_1/n_2)P_{23} + (n_1/n_3) \end{pmatrix} \quad (2.13)$$

Dari persamaan (2.13) dapat diketahui persamaan untuk kekuatan lensa P yang berhubungan dengan jarak fokus lensa f yaitu $P = P_{23} + dP_{12}P_{23} + P_{12}(n_2/n_3)$ sehingga persamaan (2.13) menjadi

$$\begin{pmatrix} 1 + dP_{12} & d(n_1/n_2) \\ P & d(n_1/n_2)P_{23} + (n_1/n_3) \end{pmatrix} \quad (2.14)$$

Persamaan (2.14) merupakan persamaan untuk sebuah lensa dengan ketebalan d . Mikroskop terdiri dari gabungan dua lensa, namun lensa yang digunakan pada mikroskop adalah lensa tipis, sehingga ketebalannya dapat diasumsikan sama dengan nol ($d = 0$). Dengan

demikian persamaan matriks untuk lensa tipis dapat diperoleh dari persamaan matriks lensa untuk lensa tebal pada persamaan (2.13) dengan memasukkan nilai ketebalan lensa sama dengan nol ($d=0$) sehingga persamaan (2.13) menjadi

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ P_{23} + P_{12}(n_2/n_3) & n_1/n_3 \end{pmatrix} \quad (2.15)$$

Apabila diasumsikan $n_1 = n_3 = 1$, maka persamaan (2.15) menjadi

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ P_{23} + P_{12}(n_2) & 1 \end{pmatrix} \quad (2.16)$$

dari persamaan (2.16) dapat diketahui bahwa

$$P_{23} + P_{12}(n_2) = -\frac{(1-n_2)}{r_2} - \frac{(n_2-1)}{r_1} = -\frac{1}{f}, \text{ sehingga persamaan}$$

(2.16) juga dapat dituliskan dengan

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/f & 1 \end{pmatrix}$$

Analog dengan persamaan jalannya sinar pada lensa yang memiliki ketebalan d , persamaan jalannya sinar pada lensa tipis ($d=0$) dituliskan dalam vektor koordinat objek dan bayangan seperti pada persamaan (2.5), maka

$$\begin{pmatrix} l \\ \alpha_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/f & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} l_1 \\ \alpha_1 \end{pmatrix} \quad (2.17)$$

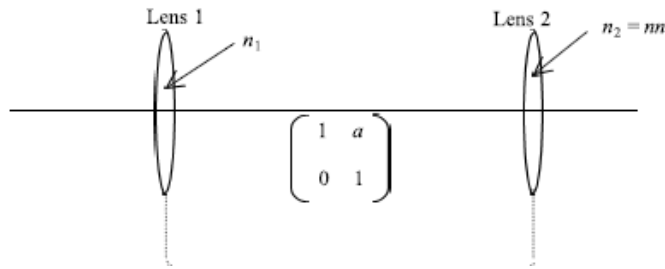
atau

$$\begin{pmatrix} l_2 \\ \alpha_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} l_1 \\ -l_1/f + \alpha_1 \end{pmatrix} \quad (2.18)$$

dari persamaan (2.18) diperoleh

$$\begin{aligned} l_2 &= l_1 \\ \alpha_2 &= -\frac{l_1}{f} + \alpha_1 \end{aligned} \quad (2.19)$$

Mikroskop terdiri dari dua lensa tipis yaitu lensa objektif dan lensa okuler. Lensa objektif merupakan lensa yang dekat dengan benda dan lensa okuler merupakan lensa yang dekat dengan mata.



Gambar 2.4. Koordinat Untuk Sistem Dua Lensa Tipis
(Sumber: Moller, 2002:59)

Apabila diasumsikan bahwa lensa objektif merupakan lensa pertama dengan jarak fokus f_1 , dan lensa okuler merupakan lensa kedua dengan jarak fokus f_2 , serta jarak antar dua lensa tersebut sejauh a (seperti pada Gambar 2.4), maka persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_2 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & a \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_1 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.20)$$

Pada persamaan (2.20) operasi pertama merupakan operasi matriks sebuah lensa tipis yang dekat dengan objek (lensa objektif mikroskop) diwakili oleh matriks yang paling kanan. Matriks yang tengah pada persamaan (2.20) merupakan matriks translasi dari jarak antar lensa objektif dan lensa okular yang terpisah sejauh a seperti pada Gambar

2.4. Operasi matriks yang terakhir yaitu operasi matriks sebuah lensa tipis yang dekat dengan mata (lensa okuler mikroskop) diwakili oleh matriks yang paling kiri. Operasi perkalian matriks pada persamaan (2.20) menghasilkan matriks dua kali dua sebagai berikut

$$\begin{pmatrix} 1 & a \\ -1/f_2 & -a + f_2/f_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_1 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (f_1 - a)/f_1 & a \\ -(f_1 - a + f_2)/f_1 f_2 & -(a - f_2)/f_2 \end{pmatrix} \quad (2.21)$$

Agar persamaan pada lensa tipis terpenuhi, elemen (1,1) dan (2,2) pada matriks dalam persamaan (2.21) harus sama dengan satu, serta elemen (1,2) pada persamaan (2.21) harus sama dengan nol. Karena elemen (1,1) dan (2,2) pada matriks dalam persamaan (2.21) tidak sama dengan 1 dan elemen (1,2) pada matriks dalam persamaan (2.21) juga tidak sama dengan nol, maka matriks translasi diaplikasikan pada matriks dalam persamaan (2.21). Langkah pertama yang dilakukan yaitu mentranslasikan bidang objek dengan $-h$ atau jika dituliskan dengan bentuk matriks $\begin{pmatrix} 1 & -h \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$, dan langkah terakhir yaitu mentranslasikan bidang bayangan dengan hh dan jika dituliskan dalam matriks adalah

$\begin{pmatrix} 1 & hh \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$. Dengan demikian persamaan (2.21) menjadi

$$\begin{pmatrix} 1 & hh \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} (f_1 - a)/f_1 & a \\ -(f_1 - a + f_2)/f_1 f_2 & -(a - f_2)/f_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & -h \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.22)$$

Apabila persamaan (2.21) dituliskan menjadi $\begin{pmatrix} M_{1,1} & M_{1,2} \\ M_{2,1} & M_{2,2} \end{pmatrix}$ maka

hasil perkalian matriks pada persamaan (2.22) adalah

$$\begin{pmatrix} 1 & hh \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} M_{1,1} & M_{1,2} \\ M_{2,1} & M_{2,2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & -h \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = \quad (2.23)$$

$$\begin{pmatrix} 1 & hh \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} M_{1,1} & -hM_{1,1} + M_{1,2} \\ M_{2,1} & -hM_{2,1} + M_{2,2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M_{1,1} + hhM_{2,1} & -hM_{1,1} + M_{1,2} + hh(-hM_{2,1} + M_{2,2}) \\ M_{2,1} & -hM_{2,1} + M_{2,2} \end{pmatrix} \quad (2-24)$$

Setelah diaplikasikan matriks translasi $\begin{pmatrix} 1 & -h \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$ dan $\begin{pmatrix} 1 & hh \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$ pada persamaan (2.21), maka elemen matriks (1,1) dan (2,2) sama dengan 1 dan elemen matriks (2,1) pada persamaan (2.24) sama dengan nol. Dengan demikian berdasarkan persamaan (2.24), maka diperoleh

$$P = -\frac{1}{f} = M_{2,1} = -\frac{(f_1 + a + f_2)}{f_1 f_2} \quad (2.25)$$

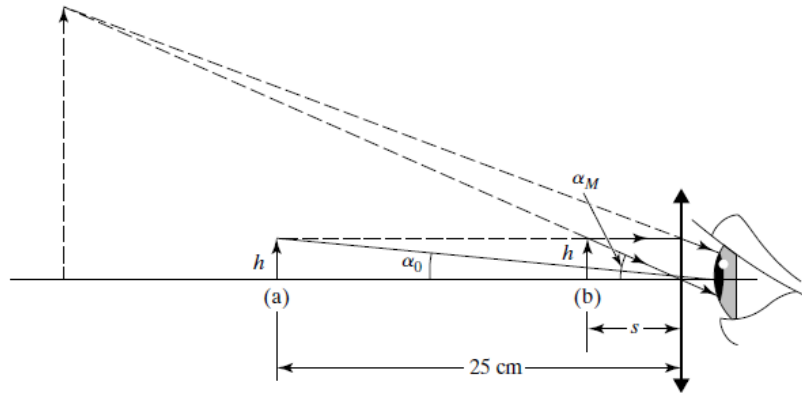
$$h = -\frac{(1 - M_{2,2})}{M_{2,1}} = -\frac{a}{P f_2} \quad (2.26)$$

$$hh = \frac{(1 - M_{1,1})}{M_{2,1}} = \frac{a}{P f_1} \quad (2.27)$$

Persamaan (2.24) dapat digunakan untuk menghitung jarak bayangan jika diketahui jarak objek, jarak fokus lensa objektif dan okuler, dan jarak antara lensa objektif dan okuler. Jarak objek (x_o) dapat diukur dari h , dan jarak bayangan (x_i) dapat diukur dari hh , serta dari jarak fokus dapat diperoleh kekuatan lensa (P) (Moller, 2002: 48-60).

b. Persamaan Matematis Untuk Perbesaran Yang Dihasilkan Sistem Lensa Pada Mikroskop

Kaca pembesar sederhana pada dasarnya adalah lensa positif yang digunakan untuk membaca tulisan dengan ukuran yang relatif kecil atau membantu mata melihat benda yang relatif kecil.



Gambar 2.5. Ilustrasi Prinsip Kerja Kaca Pembesar
(Sumber: Pedrotti *et al*, 2012: 75)

Gambar 2.5 mengilustrasikan prinsip kerja kaca pembesar sederhana. Objek kecil yang memiliki dimensi h , apabila dilihat dengan mata tanpa menggunakan alat bantu, diasumsikan berada pada titik dekat mata normal yaitu 25 cm dari mata. Pada posisi ini objek akan membentuk sudut sebesar α_0 pada mata. Untuk memproyeksikan gambar yang lebih besar di retina, kaca pembesar sederhana digunakan dan benda tersebut dipindahkan lebih dekat ke posisi (b) yang masih dalam jangkauan jarak fokus lensa pada kaca pembesar. Pada posisi ini, lensa membentuk bayangan maya dan membentuk sudut α_M di mata. Perbesaran sudut dari sistem kaca pembesar sederhana didefinisikan sebagai rasio α_M/α_0 . Dalam pendekatan paraxial, sudut dapat diwakili oleh tangen sudut, sehingga

$$M = \frac{\alpha_M}{\alpha_0} = \frac{h/s}{h/25} = \frac{25}{s} \quad (2.28)$$

Jika bayangan dilihat pada jarak tak terhingga, maka $s = f$ sehingga

$$M = \frac{25}{f} \quad (2.29)$$

Di sisi lain, jika bayangan maya berada di titik dekat mata, kemudian

$s' = -25$, maka dari persamaan lensa tipis diperoleh

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

$$\frac{1}{s} = \frac{1}{f} - \frac{1}{s'}$$

$$\frac{1}{s} = \frac{1}{f} - \frac{1}{(-25)}$$

$$\frac{1}{s} = \frac{25+f}{25f}$$

$$s = \frac{25f}{25+f} \quad (2.30)$$

dari persamaan (2.28) dan persamaan (2.30) perbesaran yang dihasilkan adalah

$$M = \frac{25}{s} = \frac{25}{\left(\frac{25f}{(25+f)}\right)} = 25 \times \frac{(25+f)}{25f}$$

$$M = \frac{25}{f} + 1 \quad (2.31)$$

Lensa okuler atau *eyepieces* merupakan alat bantu berupa lensa yang digunakan untuk membantu mata dalam melihat gambar yang dibentuk oleh komponen optik dari sistem sebelumnya. Dalam mikroskop, komponen optik dari sistem sebelum lensa okuler adalah lensa objektif. Gambar nyata yang terbentuk oleh lensa objektif mikroskop, berfungsi sebagai objek yang dilihat oleh lensa okuler, dengan pembesaran sudut yang dihasilkan oleh lensa okuler berkontribusi pada perbesaran keseluruhan instrumen mikroskop. Lensa okuler dikoreksi sampai batas tertentu untuk mengurangi aberasi kromatik transversal serta diperoleh gambar yang berkualitas. Sistem

dua lensa paling sering digunakan untuk mencapai perbaikan ini,. Panjang fokus f efektif dari dua lensa tipis, dipisahkan oleh jarak a adalah

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{a}{f_1 f_2} \quad (2.32)$$

Bila bayangan terakhir dilihat oleh mata, pembesaran mikroskop dapat didefinisikan seperti dalam kasus kaca pembesar sederhana. Jadi, perbesaran sudut untuk gambar yang dilihat pada tak terhingga, berdasarkan persamaan (2.29) adalah

$$M = \frac{25}{f_{eff}} \quad (2.33)$$

dimana f_{eff} (dalam cm) adalah jarak fokus efektif dari kedua lensa yang dipisahkan oleh jarak d , dan berdasarkan persamaan (2.32) diberikan oleh

$$\frac{1}{f_{eff}} = \frac{1}{f_o} + \frac{1}{f_e} - \frac{d}{f_o f_e} \quad (2.34)$$

dengan f_o merupakan jarak fokus lensa objektif dan f_e merupakan jarak fokus lensa okuler. Persamaan (2.34) juga dapat dituliskan sebagai

$$f_{eff} = \frac{f_o f_e}{f_e + f_o - d} \quad (2.35)$$

Apabila persamaan (2.35) disubstitusikan ke persamaan (2.33) maka diperoleh

$$M = \frac{25 (f_e + f_o - d)}{f_o f_e} \quad (2.36)$$

Berdasarkan Gambar 2.6 dapat diketahui jarak bayangan lensa objektif

s_o' adalah

$$s_o' = d - f_e \quad (2.37)$$

dimana f_e merupakan jarak fokus lensa okuler. Oleh karena itu,

berdasarkan dari persamaan lensa tipis diperoleh

$$\begin{aligned} \frac{1}{f_o} &= \frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_o'} \\ \frac{1}{s_o} &= \frac{1}{f_o} - \frac{1}{s_o'} \\ \frac{1}{s_o} &= \frac{s_o' - f_o}{f_o s_o'} \end{aligned} \quad (2.38)$$

Apabila persamaan (2.37) disubstitusikan ke persamaan (2.38), maka

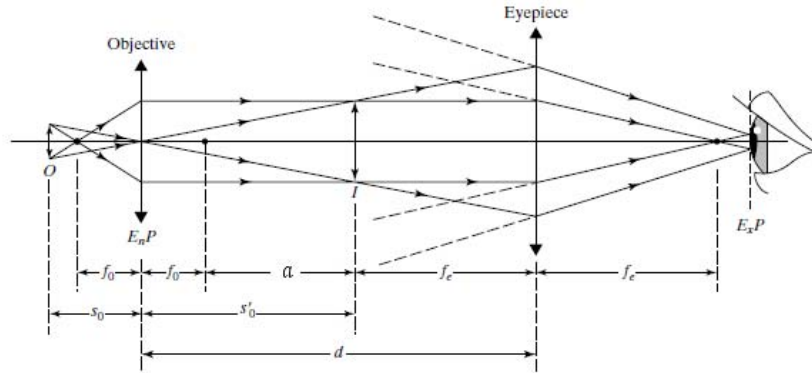
$$\begin{aligned} \frac{1}{s_o} &= \frac{(d - f_e) - f_o}{f_o s_o'} \\ s_o &= \frac{f_o s_o'}{(d - f_e) - f_o} \end{aligned} \quad (2.39)$$

Berdasarkan persamaan (2.37) dan (2.39) dapat diketahui bahwa rasio

jarak bayangan terhadap jarak obyek, s_o'/s_o , untuk lensa objektif

adalah

$$\frac{s_o'}{s_o} = \frac{s_o'}{f_o s_o' / ((d - f_e) - f_o)} = s_o' \times \frac{(d - f_e) - f_o}{f_o s_o'} = \frac{d - f_e - f_o}{f_o} \quad (2.40)$$



Gambar 2.6. Pembentukan Bayangan Oleh Mikroskop
(Sumber: Pedrotti *et al*, 2012: 79)

Apabila persamaan (2.40) disubstitusikan ke persamaan (2.36), maka diperoleh

$$M = -\left(\frac{s_o'}{s_o}\right)\left(\frac{25}{f_e}\right) \quad (2.41)$$

Persamaan (2.41) menunjukkan bahwa perbesaran total merupakan hasil perkalian dari pembesaran linier objektif dengan perbesaran sudut lensa okuler ketika melihat bayangan akhir pada jarak tak terhingga. Tanda negatif pada persamaan (2.41) menunjukkan gambar terbalik. Apabila dibandingkan geometri yang terkait pada Gambar 2.6 dengan persamaan Newton untuk lensa tipis, maka dapat diketahui bahwa besarnya perbesaran lateral adalah

$$|m| = \left|\frac{h_i}{h_o}\right| = \left|\frac{s_o'}{s_o}\right| = \frac{x'}{f_o} = \frac{a}{f_o} \quad (2.42)$$

Jarak x' merupakan jarak bayangan dari lensa objektif dan a merupakan jarak antara titik fokus lensa objektif dengan dengan titik

fokus lensa okuler, maka perbesaran total pada mikroskop dapat diekspresikan sebagai

$$M = -\left(\frac{25}{f_e}\right)\left(\frac{a}{f_o}\right) \quad (2.43)$$

(Pedrotti *et al*, 2012: 75-80)

B. SERAT OPTIK

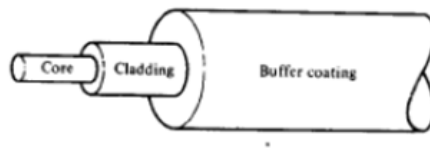
Serat optik merupakan media transmisi atau pandu gelombang cahaya berbentuk silinder yang dikembangkan diakhir tahun 1960-an sebagai jawaban atas perkembangan sistem komunikasi yang semakin lama membutuhkan *bandwidth* yang besar dengan laju transmisi yang tinggi. Crips and Elliot (2005:10) menyatakan bahwa serat optik adalah sebuah bahan transparan yang sangat jernih, atau kabel yang terbuat dari bahan semacam ini, yang dapat digunakan untuk mentransmisikan gelombang cahaya.

Prinsip kerja serat optik tidak lepas dari bagian-bagian pentingnya yaitu *transmitter*, kabel fiber optik dan *receiver*. *Transmitter* berfungsi untuk mengubah informasi dari gelombang elektrik agar dapat bersesuaian dengan gelombang cahaya dan membangkitkannya menjadi gelombang cahaya sehingga dapat merambat melalui kabel serat optik. Fungsi kabel serat optik adalah sebagai tempat merambatnya gelombang cahaya. *Receiver* berfungsi untuk menerima sinyal optik yang selanjutnya diubah menjadi gelombang aslinya kembali.

Serat optik terdiri dari dua jenis yaitu serat optik kabel dan serat optik plastik. Serat optik kabel banyak digunakan untuk transmisi jarak jauh

sementara serat optik plastik hanya digunakan untuk komunikasi jarak pendek. Serat optik banyak dibuat dari kaca atau bahan silika (SiO_2), yang biasanya diberi *doping* untuk menaikkan indeks biasnya. Serat optik plastik tidak jauh berbeda dengan serat optik kabel, hanya saja serat optik kabel dilengkapi dengan *kevlar* untuk penguat serat optik.

1. Struktur Serat Optik



Gambar 2.7. Struktur Serat Optik Plastik
(Sumber: Keiser, 1983: 26)

Struktur serat optik terdiri dari 3 bagian utama yaitu:

a. Inti (*core*)

Inti (*core*) merupakan bagian utama dari serat optik karena perambatan cahaya terjadi pada bagian inti. Inti serat optik terbuat dari bahan plastik atau kaca halus yang berkualitas tinggi dan tidak mengalami perkaratan (korosi). Ukuran inti serat optik mempengaruhi karakteristik dari serat optik tersebut.

b. Selongsong (*cladding*)

Cladding merupakan pelindung inti yang terbuat dari bahan polimer atau plastik. Walaupun tidak membawa cahaya namun *cladding* merupakan bagian penting dari serat optik, khususnya bersama inti dalam menghasilkan fenomena pemantulan internal total

untuk pemanduan gelombang optik di dalam inti serat optik, dimana indeks bias *cladding* harus lebih kecil dari pada indeks bias inti.

c. Jaket pelindung (*buffer primer*)

Buffer berfungsi sebagai pelindung inti dan *cladding* dari kondisi lingkungan yang merusak seperti asam dan basa. Selain itu ada pula bagian penting lain dari serat optik yaitu *jacket* dan *strengthening fiber*. *Jacket* merupakan bagian terluar yang berhubungan langsung dengan lingkungan, sedangkan *strengthening fiber* dari bahan *kevlar* berfungsi sebagai penguat kabel serat optik dari tarikan.

Pada serat optik, indeks bias inti (*core*) lebih besar dari indeks bias *cladding*. Cahaya yang masuk ke dalam inti akan tegak lurus terhadap penampang membujur serat optik. Cahaya tersebut masuk ke dalam inti (*core*) dengan sudut datang lebih besar dari sudut kritisnya, yang akan menghasilkan pemantulan sempurna pada bidang batas *core-cladding*.

C. CITRA DIGITAL

1. Pengertian Citra Digital

Citra atau *image* adalah representasi spasial dari suatu objek yang sebenarnya dalam bidang dimensi dua yang biasanya ditulis dalam koordinat kartesian x - y , dan setiap koordinat merepresentasikan satu sinyal terkecil dari objek (Kulkarni, 2001: 61). Ditinjau dari sudut pandang matematis, citra merupakan fungsi kontinyu dari intensitas cahaya pada bidang dimensi dua. Sumber cahaya menerangi objek, objek memantulkan

kembali sebagian berkas cahaya tersebut, pantulan cahaya ini ditangkap oleh alat optik sehingga bayangan objek yang disebut citra tersebut terekam (Munir, 2004: 26). Putra (2010: 19) menyatakan bahwa citra digital dapat diartikan sebagai suatu fungsi dimensi dua $f(x, y)$ berukuran M baris dan N kolom, sedangkan x dan y adalah posisi koordinat spasial dan amplitudo f di titik koordinat (x, y) dinamakan intensitas atau tingkat keabuan dari citra pada titik tersebut.

Nilai dari intensitas bentuknya adalah diskrit mulai dari 0 sampai 255. Citra yang ditangkap oleh kamera dan telah dikuantisasi dalam bentuk nilai diskrit disebut sebagai citra digital (*digital image*). Citra digital tersusun dari sejumlah nilai tingkat keabuan yang dikenal sebagai piksel (*pixel*). Citra analog harus dikonversi terlebih dahulu ke dalam bentuk citra digital untuk melakukan pemrosesan citra digital,. Ada dua jenis citra digital, yaitu citra diam (*still image*) dan citra bergerak (*moving image*). Suatu citra (gambar) analog dengan ukuran panjang kali lebar, dapat didigitalisasi dengan mengambil sampling berupa matriks berukuran M kali N , dengan M adalah jumlah sampling untuk panjang, dan N adalah jumlah sampling untuk lebar.

Pengambilan citra bisa dilakukan oleh kamera atau alat lain yang bisa digunakan untuk mentransfer gambar. Proses transformasi dari bentuk dimensi tiga ke bentuk dimensi dua untuk menghasilkan citra akan dipengaruhi oleh berbagai faktor yang mengakibatkan penampilan citra suatu benda tidak sama persis dengan bentuk aslinya. Faktor-faktor

tersebut merupakan efek degradasi atau penurunan kualitas yang dapat berupa rentang kontras benda yang terlalu sempit atau terlalu lebar, distorsi, kekaburan (*blur*), kekaburan akibat objek citra yang bergerak, serta gangguan yang disebabkan oleh interferensi peralatan pembuat citra, baik itu berupa *transducer*, peralatan elektronik ataupun peralatan optik.

2. Pengolahan Citra Digital

Data atau informasi tidak hanya disajikan dalam bentuk teks, tetapi juga dapat berupa citra. Pengolahan citra merupakan proses pengolahan dan analisis citra yang banyak melibatkan persepsi visual. Proses ini mempunyai ciri data masukan berupa citra. Menurut Efford (2000: 117), pengolahan citra adalah istilah umum untuk berbagai teknik yang keberadaannya untuk memanipulasi dan memodifikasi citra dengan berbagai cara. Foto adalah contoh gambar berdimensi dua yang bisa diolah dengan mudah. Setiap foto dalam bentuk citra digital dapat diolah melalui perangkat lunak tertentu. Sebagai contoh, apabila hasil bidikan kamera terlihat agak gelap, citra dapat diolah agar menjadi lebih terang. Dimungkinkan pula untuk memisahkan foto orang dari latar belakangnya. Gambaran tersebut menunjukkan hal sederhana yang dapat dilakukan melalui pengolahan citra digital.

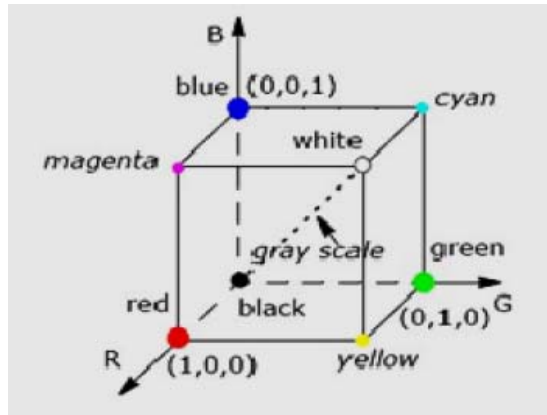
a. Konversi Citra RGB ke *Grayscale*

Proses dasar pengenalan warna mengikuti otak manusia dalam memahami warna secara fisiologis. Pada dasarnya, warna yang terlihat pada suatu objek ditentukan oleh cahaya yang terpantul dari objek

tersebut, karakteristik optiknya, dan persepsi mata manusia. Warna merupakan salah satu dari gelombang elektromagnetik yang direpresentasikan oleh panjang gelombangnya. Spektrum dari gelombang elektromagnetik yang bisa ditangkap oleh mata normal manusia berkisar antara 390 nm (violet) sampai 750 nm (merah) (Ferry and Perciano, 2013: 21). Karena struktur mata manusia, semua warna dipandang sebagai variabel kombinasi dari warna primer yaitu *Red* (merah), *Green* (hijau), dan *Blue* (biru) atau lebih dikenal dengan RGB (Karthikeyani, 2007:11).

Gambar RGB (*Red, Green, Blue*) merupakan susunan data 3-D (dimensi 3) yang memiliki tiga nilai dalam piksel tunggal dengan rentang nilai 0-255 (Solomon and Breckson, 2011: 9). Warna pada model RGB dapat dideskripsikan sebagai jumlahan dari warna merah, hijau, dan biru. Setiap warna dapat bervariasi antara nilai minimum (benar-benar gelap) dan maksimum (benar-benar intens/ terang). Bila semua warna memiliki nilai minimum, maka menghasilkan kombinasi warna hitam. Begitu pula sebaliknya, jika semua elemen warna (merah, hijau, dan biru) memiliki nilai maksimum maka menghasilkan warna putih. Model warna tersebut dikenal dengan sebutan *RGB Color Cube*, karena modelnya didasarkan pada sistem koordinat kartesian dan subruang warnanya berbentuk kubus. Warna primer dan warna sekunder berada pada sudut kubus. Warna hitam berada pada titik

origin dan warna putih berada di sudut yang berlawanan. Diagonal antara warna hitam dan warna putih adalah skala abu-abu.



Gambar 2.8. Ilustrasi *RGB Color Cube*
(Sumber: Gonzales and Woods, 2002: 424)

Konversi ruang warna RGB ke gambar skala abu-abu (*grayscale*) dapat menggunakan transformasi sederhana. Konversi skala abu-abu adalah langkah awal dalam banyak algoritma analisis citra, untuk menyederhanakan (yaitu mengurangi) jumlah informasi pada gambar. Namun, penyederhanaan tersebut masih tetap memuat informasi-informasi penting seperti tepi, daerah, gumpalan, persimpangan, dan sebagainya. Nilai warna *grayscale* 8 bit memiliki rentang dari 0-255. Suatu gambar berwarna RGB, I_{colour} , diubah menjadi *grayscale*, $I_{gray-scale}$ menggunakan transformasi sebagai berikut:

$$I_{gray-scale}(m,n) = \alpha I_{colour}(n,m,r) + \beta I_{colour}(n,m,g) + \gamma I_{colour}(n,m,b) \quad (2.45)$$

(Solomon and Breckson, 2011: 11)

b. Canny Edge Detection

Tepi merupakan daerah yang mengalami perubahan signifikan pada intensitas gambar, biasanya dikaitkan dengan diskontinuitas baik dalam intensitas gambar atau turunan pertama dari intensitas gambar (Ramadevi, *et al*, 2010: 154). Lindeberg (2001: 8) juga menyatakan bahwa tepi di dalam gambar dapat dinyatakan sebagai diskontinuitas intensitas piksel pada gambar. Diskontinuitas tersebut dapat menentukan batas-batas objek, perubahan tekstur, kedalaman, dan luminositas dari realita yang ditangkap secara eksternal. Deteksi tepi mampu mewakili batas-batas benda yang berbeda yang ditangkap oleh kamera dan menghilangkan hal lainnya, sehingga mampu mengurangi data dan informasi dalam suatu citra (Dollár and Belongie, 2006).

Ada banyak teknik deteksi tepi dalam literatur. Teknik tersebut adalah deteksi tepi dengan operator Roberts, deteksi tepi dengan operator Sobel, Kirsh, Robinson, Mar-Hilderth, LoG, dan deteksi tepi dengan operator Canny. Pada tahun 1986 John Canny (Canny, 1986) mengusulkan metode yang berbasis pengembangan filter untuk mengoptimalkan pendeteksian tepi pada citra ber-*noise*. Canny bertujuan untuk menemukan algoritma deteksi tepi yang optimal dengan mengurangi kemungkinan mendeteksi sisi yang salah dan memberi sisi yang tajam (Rashmi et al, 2013:66). Dengan kata lain deteksi tepi dengan operator Canny bertujuan untuk menemukan tepi

yang optimal, yang memenuhi kriteria sebagai berikut (Debosmit, 2003: 2) :

1) *Good Detection*

Metode yang mampu mendeteksi tepi dengan baik harus memiliki probabilitas rendah untuk menandai titik-titik tepi yang salah dan memiliki probabilitas yang rendah untuk menandai titik-titik yang bukan merupakan tepi suatu objek. Kedua kriteria tersebut bertujuan memaksimalkan nilai *signal to noise ratio* (SNR) sehingga semua tepi dapat terdeteksi dengan baik atau tidak ada yang hilang.

2) *Good Localization*

Titik yang ditandai sebagai titik tepi oleh operator harus sedekat mungkin ke pusat tepi yang sebenarnya. Atau dengan kata lain jarak antar posisi tepi yang terdeteksi oleh detektor dengan posisi tepi yang sesungguhnya adalah seminimal mungkin (idealnya = 0).

3) *Minimal Response*

Tepi yang ditandai pada suatu citra harus diberi tanda satu kali saja dan *noise* pada citra seharusnya tidak menciptakan tepi yang salah. Oleh karena itu, detektor tepi yang sebenarnya tidak menghasilkan tepi yang bukan tepi yang sebenarnya.

Pengoptimalan pendeteksian tepi pada citra ber-*noise*, metode deteksi tepi dengan operator Canny menurut Davies (2012: 129) melibatkan sejumlah tahapan pengolahan yaitu:

1) Mengurangi *Noise* Gambar dengan Filter Gaussian

Langkah pertama yang dilakukan pada deteksi tepi dengan operator Canny adalah menyaring/ memfilter *noise* pada gambar asli sebelum mencoba mencari dan mendeteksi tepinya. Menurut Usman Ahmad (2005: 70) filter Gaussian sangat baik digunakan untuk menghilangkan *noise* yang bersifat normal, yang banyak dijumpai pada sebaran citra hasil digitalisasi menggunakan kamera karena merupakan fenomena alamiah akibat pantulan cahaya dan kepekaan sensor cahaya kamera itu sendiri. Filter Gaussian digunakan untuk mengaburkan dan menghapus detail dari *noise* suatu citra yang tidak diinginkan.

Filter Gaussian merupakan salah satu filter linear dengan nilai pembobotan untuk setiap anggotanya yang dipilih berdasarkan bentuk fungsi Gaussian. Penghitung atau penentuan nilai-nilai setiap elemen dalam filter penghalus Gaussian, menurut Gonzales and Woods (2002: 132) digunakan persamaan sebagai berikut:

$$G(i, j) = ce^{\frac{(i-u)^2 + (j-v)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.46)$$

dimana c dan σ = konstanta

$G(i,j)$ = elemen matriks kernel Gauss pada posisi

(i,j)

u,v = indeks tengah dari matriks kernel Gauss

2) Penentuan Gradien Intensitas Gambar

Langkah selanjutnya untuk mendeteksi tepi suatu citra menggunakan operator Canny adalah dengan mendeteksi dimana perubahan intensitas maksimal suatu objek terjadi pada citra *gray scale*. Menurut Rashmi *et all* (2013: 71) daerah yang dibutuhkan tersebut dapat ditentukan dengan menggunakan bantuan dari gradien suatu citra. Operator Sobel dapat digunakan untuk menentukan gradien pada setiap pixel gambar yang sudah difilter menggunakan filter Gaussian. Operator Sobel pada arah x dan y adalah sebagai berikut:

$$M_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad M_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.47)$$

Dengan demikian, operator Sobel dapat digunakan untuk menentukan gradien intensitas suatu citra pada arah x dan y yaitu

$$\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (2.48)$$

Oleh karena itu kekuatan tepi atau besarnya gradien piksel diberikan oleh persamaan sebagai berikut:

$$[\nabla f] = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (2.49)$$

$$= \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2} \quad (2.50)$$

$$\alpha(x, y) = \tan^{-1} \left[\frac{G_x}{G_y} \right] \quad (2.51)$$





Persamaan (2.49) menunjukkan arah gradien intensitas pada suatu citra.

3) *Non-maximum supression*

Setelah menggunakan operator Sobel, intensitas tepi-tepi yang ditemukan bisa saja bervariasi, tergantung intensitas yang terbentang pada tepi. Supresi non-maksimum diaplikasikan untuk mempertajam tepi (Alkautsar dan Suprijadi, 2012: 69). Rashmi *et al* (2013: 71) menyatakan bahwa penekanan non-maksimum dilakukan untuk mempertahankan nilai gradien maksimal dan menghapus semua nilai lain untuk menghasilkan tepi yang tipis. Proses supresi non-maksimum ini memastikan bahwa hanya piksel-piksel dengan magnitudo gradien tertinggi yang disimpan dan secara otomatis membuang piksel - piksel dengan magnitudo gradien yang lebih kecil. Supresi dilakukan dengan memeriksa tiga piksel dalam kernel 3 x 3 dalam citra.

Tabel di bawah ini menunjukkan syarat -syarat yang harus dipenuhi dalam supresi non-maksimum.

Tabel 2.1. Tabel Syarat-Syarat Yang Harus Dipenuhi Dalam Supresi Non-Maksimum

Sudut θ^* =	0°	45°	90°	135°
Piksel-piksel yang diperiksa	$(x+1,y);$ $(x,y);$ $(x-1,y)$	$(x+1,y+1);$ $(x,y);$ $(x-1,y-1)$	$(x,y-1);$ $(x,y);$ $(x,y+1)$	$(x-1, y+1);$ $(x,y);$ $(x+1,y-1)$
Deskripsi dalam kernel 3 x 3 (gradien -> merah, tepi -> abu-abu)				

Jika piksel (x, y) memiliki magnitudo tertinggi diantara tiga piksel yang diperiksa, maka piksel tersebut dianggap sebagai tepi, dan yang sebaliknya akan disupresi.

4) *Histerisis Threshold*

Hasil dari supresi non-maksimum masih terdapat tepi-tepi palsu yang dihasilkan oleh *noise*. *Thresholding* histeresis dilakukan untuk menghilangkan tepi-tepi palsu (*false edge*) dan menghubungkan tepi yang terputus setelah disupresi non-maksimum. Tepi-tepi tersebut diseleksi dengan menggunakan nilai anbang batas atas dan bawah, sehingga hanya tepi-tepi sejati saja yang akan ditunjukkan citra.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian tentang pengukuran diameter *core* serat optik dilakukan pada bulan Juni 2017 sampai Februari 2018, di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi 2 dan Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

B. Objek Penelitian

Objek dalam penelitian ini adalah kabel serat optik plastik tipe SH.4001-1.3. Serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 ini dipotong sepanjang $(6,00 \pm 0,05)$ cm. Hal ini dilakukan untuk menyesuaikan dengan ukuran meja preparat mikroskop yang digunakan untuk penelitian.

C. Variabel Penelitian

1. Variabel Bebas

Variabel bebas pada penelitian ini variasi dua perbesaran lensa objektif mikroskop.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat pada penelitian ini adalah citra yang dihasilkan dari mikroskop dan disimpan pada komputer laptop setelah mikroskop analog dengan komputer laptop terhubung oleh *Optilab Camera Microscope*.

3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol pada penelitian ini adalah intensitas cahaya lampu mikroskop sebesar 64.000 dB dan diameter core serat optik plastik SH.4001-1.3. Selain itu, nilai bukaan numerik (NA) pada lensa objektif mikroskop juga menjadi variabel kontrol pada penelitian ini. Nilai NA tersebut adalah 0.1 pada lensa objektif mikroskop dengan perbesaran 4x dan 0.25 pada lensa objektif mikroskop dengan perbesaran 10x.

D. Instrumen Penelitian

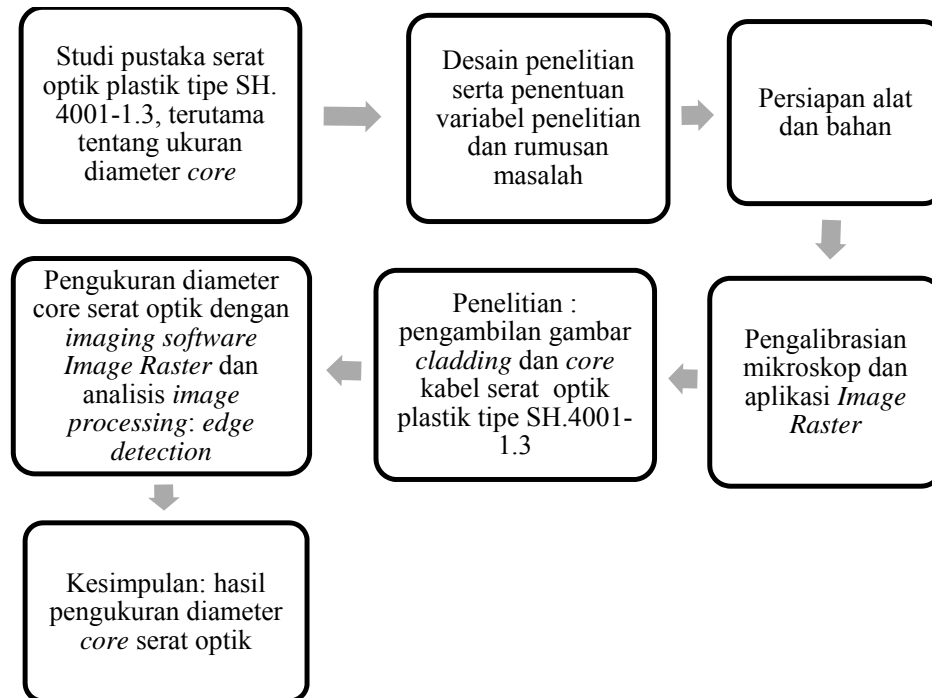
Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Kabel serat optik plastik tipe SH.4001-1.3.
2. Mistar untuk mengukur panjang serat optik plastik SH.4001-1.3 yang akan dipotong disesuaikan dengan meja benda pada mikroskop.
3. Mikroskop cahaya digunakan untuk mengamati kabel serat optik.
4. *Optilab Camera Microscope* seri *Advance* digunakan untuk mengamati kabel serat optik serta menangkap citra dari pengamatan.
5. Mikrometer objektif digunakan untuk mengkalibrasi *Optilab Camera Microscope*.
6. *Cutter* digunakan untuk menghilangkan bagian jaket kabel serat optik.
7. Kaca preparat digunakan sebagai tempat kabel serat optik agar bisa teramati dengan baik.
8. *Lux Meter* LX-1010B digunakan untuk mengukur intensitas cahaya yang masuk ke mikroskop.

9. Apertometer Abbe digunakan untuk mengukur nilai bukaan numerik (NA) pada lensa objektif mikroskop.
10. Komputer laptop yang sudah terinstall *software* Matlab R2013a digunakan untuk menganalisis citra yang dihasilkan oleh *Optilab Camera Microscope*.

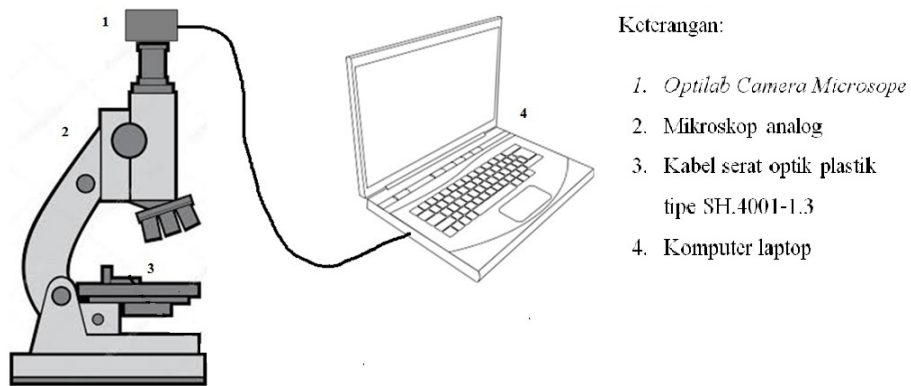
E. Desain Penelitian dan Skema Susunan Alat Penelitian

Berikut adalah bagan kerangka berpikir dalam penelitian ini.



Gambar 3.1. Bagan Kerangka Berpikir

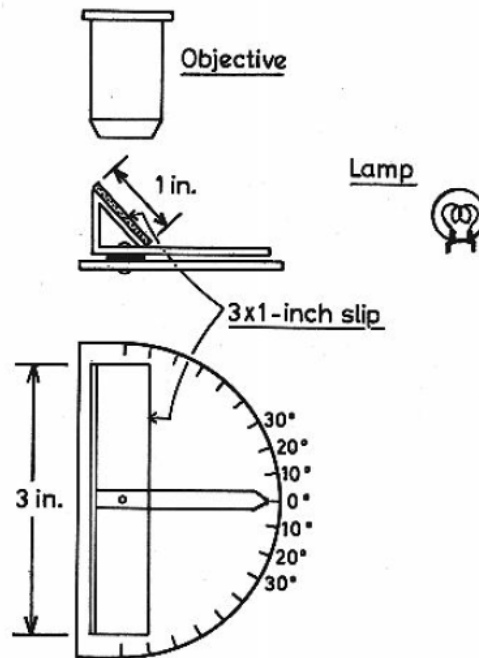
Desain penelitian yang digunakan pada percobaan ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.2. Desain Alat Penelitian

F. Prosedur Penelitian

1. Mempersiapkan peralatan seperti yang tercantum dalam instrumen penelitian kemudian menyusunnya seperti pada Gambar 3.2.
2. Menghubungkan mikroskop analog dengan sumber daya PLN.
3. Mengukur nilai bukaan numerik (NA) pada lensa objektif mikroskop dengan langkah-langkah sebagai berikut:
 - a. Memosisikan lensa objektif mikroskop pada perbesaran 4x.
 - b. Menempatkan apertometer Abbe di atas meja benda mikroskop seperti pada Gambar 3.3



Gambar 3.3. Skema Pengukuran Nilai Bukaan Numerik (NA) Lensa Objektif Mikroskop (Sumber: Booth, 1953: 97)

- c. Memusatkan penutup logam (*coverslip*) apertometer Abbe di bawah lensa objektif mikroskop.
 - d. Dengan sumber cahaya yang terang, memfokuskan lensa objektif tepat di garis tengah antara dua lingkaran perak (*coverslip*) apertometer.
 - e. Memindahkan kursor apertometer ke salah satu sisi apertometer dan membaca nilai NA pada apertometer.
 - f. Mengulangi langkah e untuk sisi apertometer yang lain.
 - g. Nilai NA suatu lensa merupakan rata-rata dari nilai dua sisi pada apertometer.
 - h. Mengulangi langkah a-g untuk lensa objektif mikroskop dengan perbesaran 10x.
4. Menghubungkan *Optilab Camera Microscope* ke komputer laptop.

5. Melakukan kalibrasi nilai piksel pada citra mikroskop yang sudah terhubung perangkat *Optilab Camera Microscope* menggunakan mikrometer objektif dengan langkah-langkah sebagai berikut:
 - a. Meletakkan mikrometer objektif pada meja benda mikroskop.
 - b. Mengatur lensa objektif mikroskop pada perbesaran yang paling kecil yaitu 4x.
 - c. Membuka aplikasi *Optilab Viewer* pada komputer laptop kemudian mengambil citra skala yang dihasilkan oleh mikrometer objektif.
 - d. Membuka aplikasi *Image Raster* pada komputer laptop kemudian melakukan kalibrasi lensa objektif dengan memasukkan nilai hasil kalibrasi pada perbesaran 4x mikroskop.
 - e. Mengulangi langkah c dan d untuk lensa objektif dengan perbesaran 10x.
6. Melakukan pengukuran diameter *core* kabel serat optik dengan langkah-langkah sebagai berikut:
 - a. Menghilangkan bagian jaket kabel serat optik menggunakan *cutter*.
 - b. Meletakkan kabel serat optik yang sudah dihilangkan bagian jaketnya di atas kaca preparat yang terletak pada meja benda mikroskop.
 - c. Mengatur perbesaran lensa objektif dan jarak meja benda dengan lensa objektif agar diperoleh gambar yang fokus.
 - d. Mengukur intensitas cahaya yang mengenai kabel serat optik dengan menggunakan *lux meter*.

- e. Mengambil citra hasil pengamatan penampang membujur kabel serat optik menggunakan komputer laptop.
- f. Membuka aplikasi *Image Raster* kemudian melakukan pengukuran diameter *core* kabel serat optik.
- g. Mengulangi langkah b-e untuk intensitas cahaya mikroskop yang lain.

G. Teknik Analisis Data

Polimer optical fiber (POF) merupakan serat optik berbahan plastik polimer, dimana lapisan teras (*core*) dibuat dari *polymethyl methacrylate* (PMMA) sedangkan lapisan *coating* dibuat dari *perfluoropolimer*. Material yang biasa digunakan dalam POF adalah Poli (metil metakrilat) (PMMA), polikarbonat (PC), polistiren (PS), kopolimer olefin siklik (COC diproduksi oleh TOPAS, Frankfrut, Jerman) dan amorf fluoropolimer (CYTOP yang diproduksi oleh Asahi Glass, Tokyo, Jepang) adalah optik yang paling populer yang digunakan untuk pembuatan POF (Yanhua Lou. et. al, 2017 : 2). Kabel serat optik yang digunakan dalam penelitian ini yaitu kabel serat optik plastik tipe SH.4001-1.3. Berikut adalah *datasheet* dari spesifikasi serat optik plastik SH.4001-1.3:

Tabel 3.1. *Datasheet Serat Optik Plastik SH.4001.1.3*
(Sumber: <http://i-fiberoptics.com/pdf/sh4001.pdf>)

		SH 4001			
Item		Specification			
		Unit	Min.	Typ.	Max.
Optical Fiber	Core Material	—	Polymetyl - Methacrylate Resin		
	Cladding Material	—	Fluorinated Polymer		
	Core Refractive Index	—	1.49		
	Refractive Index Profile	—	Step Index		
	Numerical Aperture	—	0.5		
	Core Diameter	μm	920	980	1,040
	Cladding Diameter	μm	940	1,000	1,060
Jacket	Material and Color	—	Polyethylene , Black		
	Diameter	mm	2.13	2.20	2.27
	Indication on the Jacket	—	SUPER ESKA ; Blue		
Approximate Weight		g / m	4		

SUPER ESKA ; Blue

Core dan *cladding* serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 tertutup oleh sebuah jaket berwarna hitam. Oleh karena itu, agar citra dari *cladding* dan *core* dapat diperoleh, maka jaket dari serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 dihilangkan menggunakan *cutter*. Proses penghilangan jaket ini dilakukan dengan hati-hati agar *cladding* dari serat optik tidak tergores dan tidak

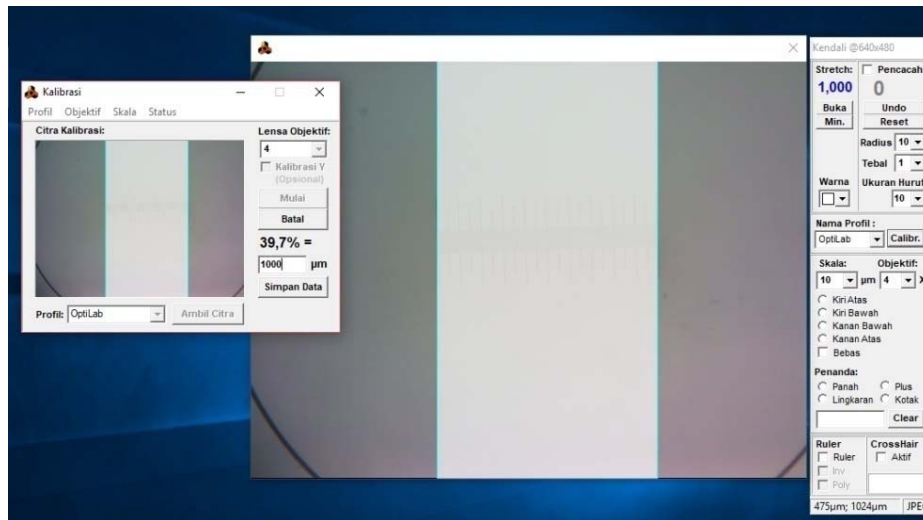
merusak bagian *core* serat optik sehingga *core* serat optik dapat teramati dengan baik.

Proses pengambilan citra *cladding* dan *core* serat optik menggunakan mikroskop cahaya yang terhubung dengan *Optilab Camera Microscope* seri *Advance*. Pengukuran diameter *core* serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 dilakukan dengan dua metode. Metode yang pertama yaitu menggunakan *imaging software* dari *Optilab* yaitu *Image Raster* dan metode yang kedua yaitu menggunakan analisis *image processing: edge detection*.

1. Pengukuran Diameter Core Serat Optik Plastik Tipe SH.4001-1.3

Menggunakan *Imaging Software Image Raster*

Sebelum melakukan pengambilan data, terlebih dahulu dilakukan kalibrasi mikroskop menggunakan mikrometer objektif. Hal ini dilakukan agar pengukuran yang dilakukan lebih akurat. Pengalibrasian ini dilakukan untuk *imaging software* dari *Optilab Camera Microscope, Image Raster*. Seperti yang telah dijelaskan pada prosedur kerja penelitian, langkah yang dilakukan untuk pengalibrasian ini yaitu mengambil citra mikrometer objektif menggunakan perbesaran lensa objektif 4x. Setelah citra dari mikrometer diperoleh, maka langkah selanjutnya yaitu mengkalibrasi *imaging software* untuk pengukuran dari *Optilab Camera Microscope* yaitu *Image Raster*. Kalibrasi ini dilakukan dengan mengukur panjang dari citra dengan panjang asli dari skala mikrometer objektif.



Gambar 3.4. Kalibrasi Image Raster

Gambar 3.4 menunjukkan proses kalibrasi *imaging software* Image Raster. Proses kalibrasi ini dilakukan dengan mengambil citra mikrometer objektif ke dalam *software* Image Raster. Langkah selanjutnya yaitu dengan men-*dragg* kursor pada skala citra mikrometer objektif kemudian memasukkan nilai yang sebenarnya pada kolom yang tersedia pada *software* Image Raster. Nilai hasil kalibrasi kemudian disimpan, dan dilakukan pengalibrasian untuk perbesaran lensa objektif 10x. Setelah dilakukan pengalibrasian *imaging software* Image Raster untuk semua perbesaran lensa objektif, maka langkah selanjutnya yaitu melakukan pengukuran diameter *core* serat optik plastik tipe SH.4001-1.3. Pengukuran diameter *core* serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 juga dilakukan dengan perbesaran lensa objektif 10x.

2. Pengukuran Diameter Core Serat Optik Plastik Tipe SH.4001-1.3

Menggunakan Analisis *Image Processing: Edge Detection*

Pengukuran diameter *core* serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 dengan analisis *image processing* ini dilakukan dengan menggunakan *software* Matlab R2013a. Proses pengukuran menggunakan analisis *image processing* ini melalui beberapa tahap. Tahapan tersebut adalah:

a. Pengambilan Citra Serat Optik Plastik Tipe SH.4001-1.3

Pengambilan citra serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 ini dilakukan menggunakan mikroskop yang sudah terhubung dengan *Optilab Camera Microscope*. Serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 ini dipotong sepanjang $(6,00 \pm 0,05)$ cm, kemudian dikelupas jaketnya lalu diletakkan di atas meja preparat mikroskop. Citra serat optik ini diambil pada dua variasi perbesaran lensa objektif mikroskop, yaitu perbesaran lensa objektif sebesar 4x dan perbesaran 10x.

b. Pengalibrasian Nilai Tiap Piksel Citra

Sama seperti yang dilakukan pada pengukuran diameter *core* serat optik menggunakan *imaging software, Image Raster*, langkah pertama yang dilakukan yaitu pengalibrasian nilai tiap piksel pada citra menggunakan citra mikrometer objektif yang juga diambil menggunakan mikroskop yang sudah terhubung dengan *Optilab Camera Microscope*. Kalibrasi ini dilakukan agar dapat diketahui perbandingan nilai tiap piksel pada citra dengan nilai sesungguhnya.

Kalibrasi ini dilakukan pada citra mikrometer objektif yang diambil ketika perbesaran lensa objektif mikroskop 4x dan 10x.

Proses kalibrasi nilai tiap piksel pada citra ini melalui beberapa tahap. Tahapan tersebut adalah:

1) Pengambilan Citra Mikrometer Objektif Pada Berbagai Perbesaran Lensa Objektif

Pada tahap ini pengambilan citra mikrometer objektif dilakukan menggunakan mikroskop yang sudah terhubung dengan *Optilab Camera Microscope*. Citra mikrometer objektif diambil pada berbagai variasi perbesaran lensa objektif mikroskop, yaitu perbesaran lensa objektif sebesar 4x, dan 10x. Hal ini dilakukan karena apabila perbesaran lensa objektif yang digunakan dalam pengamatan berbeda, maka nilai hasil kalibrasinya pun berbeda. Semakin besar perbesaran lensa objektif yang digunakan, maka akan semakin sempit jangkauan citra skala mikrometer objektif yang mampu ditangkap kamera. Oleh karena itu nilai hasil kalibrasi yang dihasilkan tiap perbesaran lensa objektif berbeda.

2) Pengolahan Citra Mikrometer Objektif

Sebelum melakukan analisis nilai hasil kalibrasi tiap piksel, citra mikrometer objektif terlebih dahulu dianalisis menggunakan *image processing* dengan *software* Matlab2013a. Proses analisis *image processing* citra mikrometer objektif ini meliputi proses

pengubahan citra dari citra *RGB* ke *citra grayscale*, *cropping*, dan proses pendeteksian tepi pada citra mikrometer objektif.

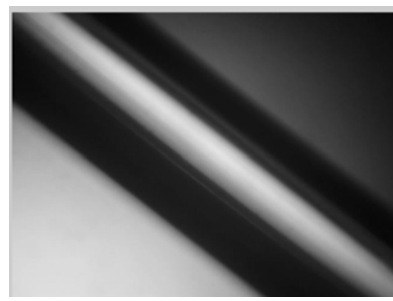
Berdasarkan data penelitian dan analisis yang telah dilakukan, maka diperoleh hasil kalibrasi nilai tiap piksel untuk perbesaran lensa objektif 4x kali adalah 10 μm . Hasil kalibrasi nilai tiap piksel untuk perbesaran lensa objektif 10x kali adalah 3,125 μm .

c. *Red Green Blue to Grayscale*

Tahapan *Red Green Blue to Grayscale* ini merupakan tahapan untuk mengubah format citra berwarna menjadi citra abu-abu. Konversi ini bertujuan untuk memudahkan peneliti dalam menganalisis citra. Berikut adalah hasil konversi citra dari *RGB* to *grayscale*.



Gambar 3.5. Citra Serat Optik Plastik SH.4001-1.3 Pada Format Warna RGB

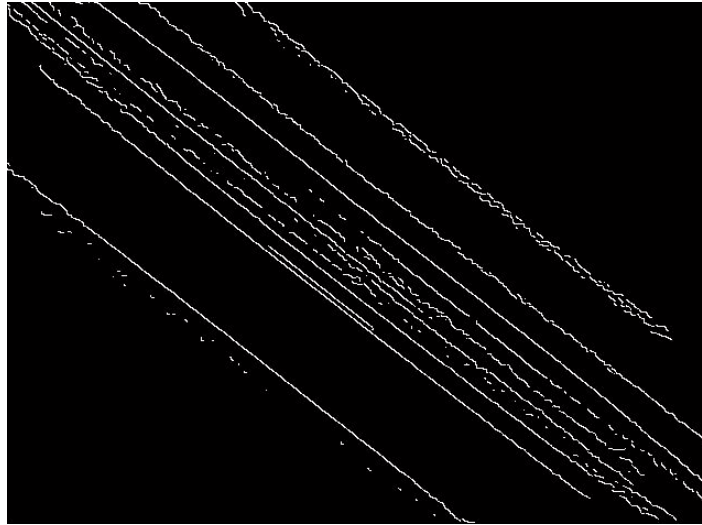


Gambar 3.6. Citra Serat Optik Plastik SH.4001-1.3 Pada Format Warna *Grayscale*

d. *Edge Detection*

Tahapan pendeteksian tepi (*edge detection*) ini merupakan tahapan untuk menampilkan gambar hanya dalam bentuk tepiannya saja. Pada tahapan ini diharapkan hasil pengukuran diameter *core* serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 dapat dilakukan dengan lebih akurat. *Edge*

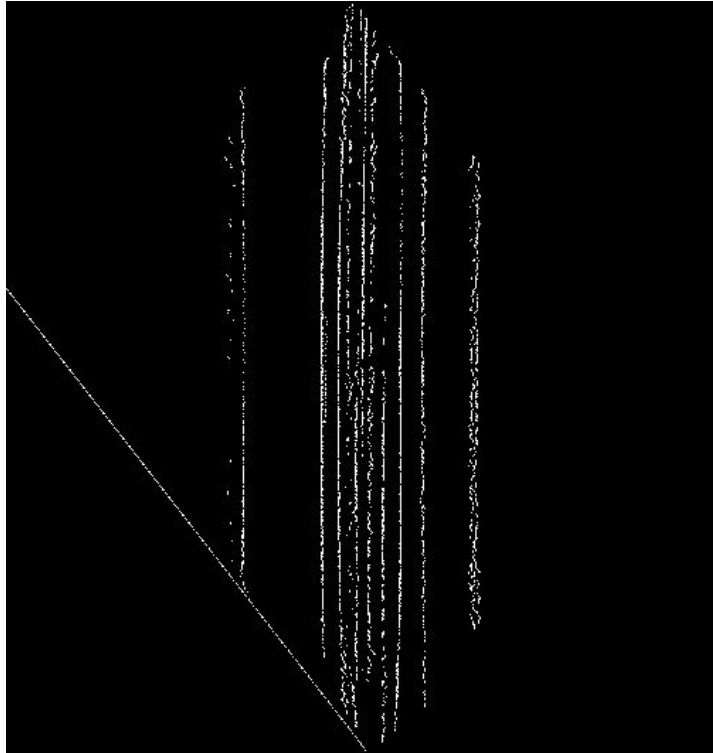
detection ini mempermudah peneliti dalam menganalisis citra karena nilai piksel citra setelah dilakukan *edge detection* hanya memiliki nilai 1 atau 0. Berikut adalah tampilan citra serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 pada tahapan *edge detection*.



Gambar 3.7. Citra Serat Optik Plastik Tipe SH.4001-1.3
Hasil *Edge Detection*

e. Rotating

Citra serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 yang sudah diproses dengan *edge detection* selanjutnya dirotasi. Rotasi ini bertujuan untuk mempermudah peneliti dalam menganalisis citra dan menentukan diameter *core* serat optik plastik tipe SH.4001-1.3. Citra serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 hasil *edge detection* dirotasi sebesar $52,12^\circ$ berlawanan arah jarum jam menggunakan *software* Matlab2013a. Berikut adalah tampilan citra serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 setelah dirotasi $52,12^\circ$ berlawanan arah jarum jam.



Gambar 3.8. Citra Serat Optik Plastik Tipe SH.4001-1.3
Hasil *Rotating*

f. Cropping

Pada penelitian ini, proses *cropping* citra dilakukan di akhir tahapan pemrosesan setelah citra dirotasi. Hal ini dilakukan karena citra asli serat optik pada penelitian ini menyerong. Tujuan dari proses pemotongan citra (*image cropping*) ini adalah untuk mempersempit area analisis gambar tanpa menghilangkan data yang dibutuhkan untuk proses analisis. Pada penelitian ini citra asli serat optik menyerong, sehingga pemotongan citra (*cropping*) lebih efektif dan efisien untuk dilakukan setelah citra dirotasi. Citra serat optik plastik tipe SH.4001-

1.3 hasil rotasi dipotong dengan ukuran 124 x 52. Berikut adalah citra serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 setelah dilakukan proses *cropping* dengan ukuran 124 x 52 piksel:



Gambar 3.9. Citra Serat Optik Plastik Tipe SH.4001-1.3
Hasil *Cropping*

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur diameter *core* kabel serat optik menggunakan *digital image processing* dengan metode *Canny edge detection*. Dalam penelitian ini kabel serat optik yang digunakan adalah kabel serat optik plastik tipe SH.4001-1.3. Untuk melakukan pengukuran digunakan mikroskop cahaya yang sudah terhubung dengan *Optilab Camera Microscope*. Dengan demikian *output* dari *Optilab Camera Microscope* ini berupa gambar yang dapat disimpan dalam komputer laptop. Penentuan diameter *core* serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 dapat dilakukan dengan memanfaatkan citra *output* dari *Optilab Camera Microscope* selanjutnya dianalisis menggunakan *imaging software* Image Raster dan dibandingkan dengan analisis menggunakan *digital image processing* dengan metode *Canny edge detection*. Analisis *digital image processing* dengan metode *Canny edge detection* dilakukan menggunakan *software* Matlab 2013a.

Dalam penelitian ini, intensitas cahaya mikroskop mempengaruhi citra yang ditangkap oleh *Optilab Camera Microscope*. Apabila intensitas cahaya mikroskop terlalu kecil maka kabel serat optik tidak teramati dengan baik. Begitu pula jika intensitas cahaya dari mikroskop terlalu besar maka kabel serat optik plastik juga tidak teramati dengan baik. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, peneliti mengatur agar intensitas cahaya dari mikroskop tetap. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, intensitas cahaya mikroskop yang mampu menghasilkan *output* citra dengan tajam dan mampu teramati dengan baik yaitu

pada 64.000 dB. Pengukuran intensitas cahaya ini dilakukan menggunakan *Lux Meter* LX-1010B.

Berikut hasil penelitian dan pembahasan untuk pengukuran diameter *core* kabel serat optik plastik tipe SH.4001-1.3:

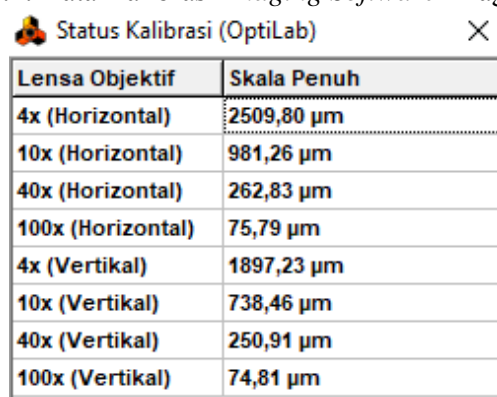
A. Pengukuran Diameter *Core* Kabel Serat Optik Plastik Tipe SH.4001-

1.3 Menggunakan *Imaging Software* Image Raster

Metode pertama yang digunakan dalam percobaan ini untuk mengukur diameter *core* kabel serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 yaitu menggunakan *imaging software* Image Raster. *Imaging software* Image Raster merupakan *software* pengolah citra dari Optilab. Sebelum pengukuran dilakukan terlebih dahulu dilakukan pengalibrasian pada *imaging software*. Pengalibrasian ini dilakukan menggunakan citra mikrometer objektif, seperti telah dijelaskan pada Teknik Analisis Data.

Berdasarkan pengalibrasian yang telah dilakukan diperoleh data kalibrasi pada *imaging software* Image Raster sebagai berikut:

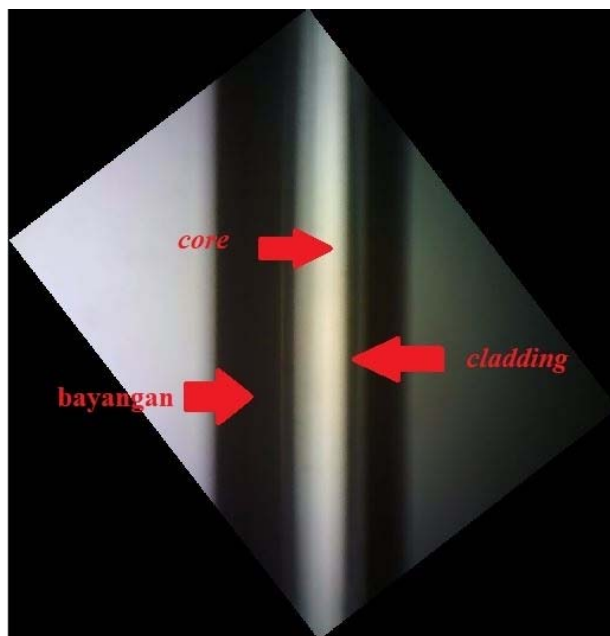
Tabel 4.1. Data Kalibrasi *Imaging Software* Image Raster



Lensa Objektif	Skala Penuh
4x (Horizontal)	2509,80 μm
10x (Horizontal)	981,26 μm
40x (Horizontal)	262,83 μm
100x (Horizontal)	75,79 μm
4x (Vertikal)	1897,23 μm
10x (Vertikal)	738,46 μm
40x (Vertikal)	250,91 μm
100x (Vertikal)	74,81 μm

Tabel 4.1 menunjukkan data hasil kalibrasi *imaging software* Image Raster. Data kalibrasi tersebut menunjukkan jarak tiap piksel pada citra dibandingkan dengan jarak sebenarnya yang diambil dari citra mikrometer objektif. Kalibrasi sebelum melakukan pengukuran diameter *core* kabel serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 ini dilakukan agar peneliti mengetahui jarak pada citra setelah dibandingkan dengan jarak sebenarnya sehingga diameter *core* kabel serat optik dapat terukur.

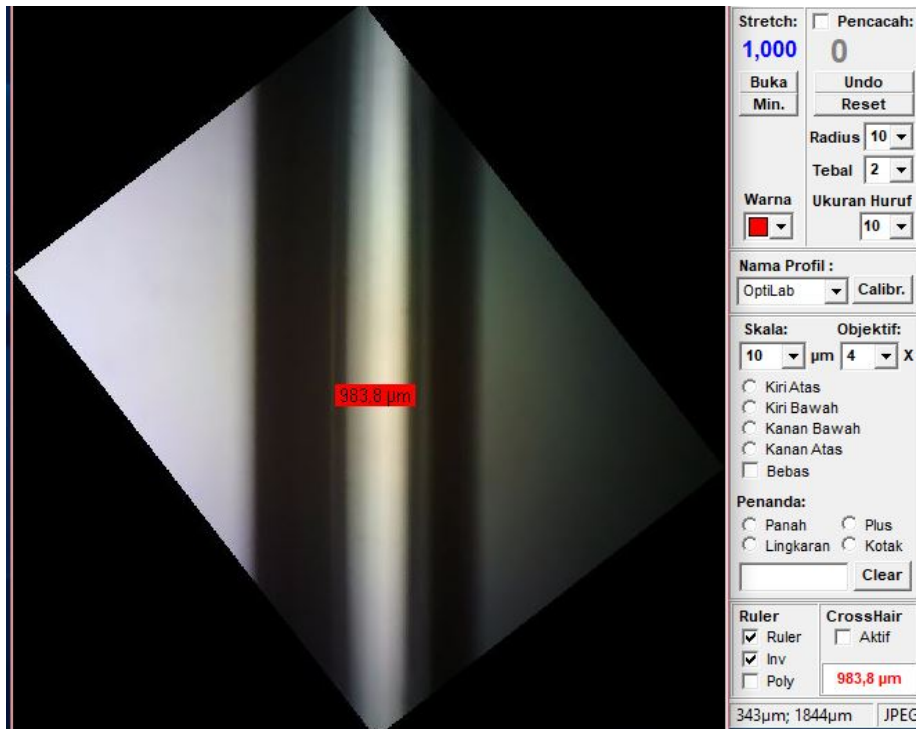
Setelah pengalibrasian *imaging software* Image Raster dilakukan, maka pengukuran diameter *core* kabel serat optik plastik SH.4001-1.3 bisa dilakukan. Berikut citra serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 yang diambil menggunakan *Optilab Camera Microscope* seri *Advance*:



Gambar 4.1. Citra Serat Optik Plastik Tipe SH.4001-1.3
Pada Format Warna RGB

Gambar 4.1 menunjukkan citra kabel serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 pada format warna RGB. Dari Gambar 4.1 dapat diketahui bahwa bagian tengah kabel serat optik dengan intensitas cahaya yang lebih tinggi (terlihat lebih terang dibandingkan sebelahnya) menunjukkan *core* dari serat optik plastik tipe SH.4001-1.3. Bagian *core* serat optik diselimuti oleh bagian *cladding* yang pada Gambar 4.1 ditunjukkan dengan intensitas yang berbeda.

Pada pengukuran menggunakan *imaging software* Image Raster, citra tidak perlu diubah ke dalam format *grayscale*. *Imaging software* Image Raster sudah mampu mengolah citra dalam format RGB. Oleh karena itu, setelah citra diperoleh maka langsung bisa dilakukan pengukuran diameter dari *core* serat optik plastik tipe SH.4001-1.3. Berikut hasil pengukuran diameter *core* serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 menggunakan *imaging software* Image Raster pada perbesaran lensa objektif 4x:



Gambar 4.2. Hasil Pengukuran Diameter *Core*
 Serat Optik Plastik SH.4001-1.3
 Menggunakan *Software* Image Raster
 Dengan Perbesaran Lensa Objektif 4x

Pengukuran diameter *core* serat optik plastik SH.4001-1.3 menggunakan *imaging software* Image Raster dilakukan pada berbagai daerah sepanjang core citra serat optik (seperti pada Lampiran I).

Tabel 4.2. Penentuan Hasil Pengukuran Diameter *Core* Serat Optik Plastik SH.4001-1.3 Menggunakan *Software Imaging* Image Raster Pada Perbesaran Lensa Objektif 4x

Pengukuran ke-	$d \text{ (}\mu\text{m)}$	$ d - \bar{d} $	$ d - \bar{d} ^2$
1	983,9	1,5533	2,412741
2	1006,7	24,3533	593,0832
3	961	21,3467	455,6816
4	983,9	1,5533	2,412741
5	983,9	1,5533	2,412741
6	983,9	1,5533	2,412741
7	983,8	1,4533	2,112081
8	983,9	1,5533	2,412741
9	983,8	1,4533	2,112081
10	961	21,3467	455,6816
11	983,8	1,4533	2,112081
12	961,2	21,1467	447,1829
13	983,8	1,4533	2,112081
14	1006,8	24,4533	597,9639
15	983,8	1,4533	2,112081
$\bar{d} = 982,3467 \mu\text{m}$		$\Sigma d - \bar{d} ^2 = 2572,217 \mu\text{m}^2$	

Ketidakpastian dari hasil pengukuran diameter *core* serat optik plastik SH.4001-1.3 dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (4.1) sebagai berikut

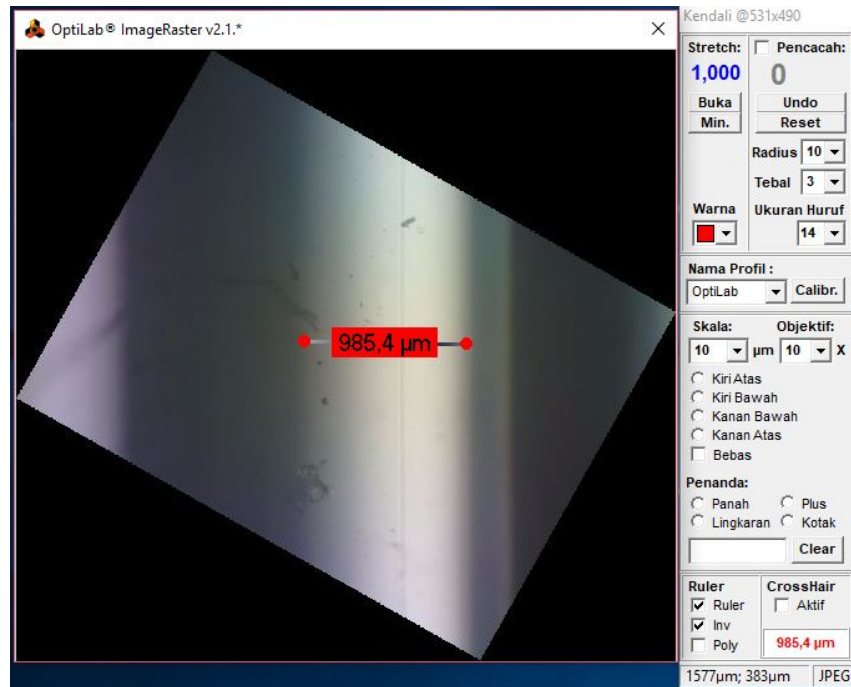
$$\Delta d = \sqrt{\frac{\sum |d - \bar{d}|^2}{n-1}} \quad (4.1)$$

Ketidakpastian pengukuran diameter *core* serat optik plastik SH.4001-1.3 menggunakan software imaging Image Raster pada perbesaran lensa objektif 4x diperoleh

$$\begin{aligned} \Delta d &= \sqrt{\frac{\sum |d - \bar{d}|^2}{n-1}} \\ \Delta d &= \sqrt{\frac{2572,217}{14}} \\ \Delta d &= 13,54 \text{ } \mu\text{m} \end{aligned} \quad (4.2)$$

Dengan demikian diperoleh hasil pengukuran diameter *core* serat optik plastik SH.4001-1.3 menggunakan *software imaging* Image Raster pada perbesaran lensa objektif 4x yaitu $(9,8 \pm 0,1) \times 10^2 \text{ } \mu\text{m}$.

Pada penelitian ini juga dilakukan pengukuran diameter *core* serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 menggunakan lensa objektif mikroskop perbesaran 10x. Berikut hasil pengukuran diameter *core* serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 dengan menggunakan perbesaran lensa objektif mikroskop 10x:



Gambar 4.3. Hasil Pengukuran Diameter *Core*
Serat Optik Plastik SH.4001-1.3
Menggunakan *Software* Image Raster
Dengan Perbesaran Lensa Objektif 10x

Sama seperti pada pengukuran menggunakan lensa objektif 4x, pengukuran diameter *core* serat optik plastik SH.4001-1.3 menggunakan metode Image Raster pada perbesaran lensa objektif 10x juga dilakukan di berbagai tempat sepanjang *core* citra serat optik plastik SH.4001-1.3 (seperti pada Lampiran II).

Tabel 4.3. Penentuan Hasil Pengukuran Diameter *Core* Serat Optik Plastik SH.4001-1.3 Menggunakan *Software Imaging* Image Raster Pada Perbesaran Lensa Objektif 4x

Pengukuran ke-	$d \text{ (}\mu\text{m)}$	$ d - \bar{d} $	$\left d - \bar{d} \right ^2$
1	985,4	1,48	2,1904
2	985,4	1,48	2,1904
3	993	9,08	82,4464
4	985,5	1,58	2,4964
5	985,5	1,58	2,4964
6	962,7	21,22	450,2884
7	985,5	1,58	2,4964
8	985,4	1,48	2,1904
9	985,4	1,48	2,1904
10	985,4	1,48	2,1904
$\bar{d} = 983,92 \text{ }\mu\text{m}$		$\sum d - \bar{d} ^2 = 551,176 \text{ }\mu\text{m}^2$	

Berdasarkan persamaan (4.1) maka dapat diperoleh ketidakpastian pengukuran diameter *core* serat optik plastik SH.4001-1.3 menggunakan *software imaging* Image Raster pada perbesaran lensa objektif 10x yaitu

$$\Delta d = \sqrt{\frac{\sum |d - \bar{d}|^2}{n-1}}$$

$$\Delta d = \sqrt{\frac{551,176}{10}}$$

$$\Delta d = 7,83 \text{ }\mu\text{m} \quad (4.3)$$

Dengan demikian berdasarkan analisis data yang telah dilakukan diperoleh hasil pengukuran diameter *core* serat optik plastik SH.4001-1.3 menggunakan *software imaging* Image Raster pada perbesaran lensa objektif 10x yaitu $(984 \pm 8) \mu\text{m}$.

B. Pengukuran Diameter *Core* Kabel Serat Optik Plastik Tipe SH.4001-1.3 Menggunakan Analisis *Image Processing* dengan Metode Canny *Edge Detection*

Metode kedua yang dilakukan dalam pengukuran diameter *core* kabel serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 yaitu menggunakan analisis *image processing* dengan metode Canny *edge detection*. Perbesaran lensa objektif yang digunakan dalam penelitian yaitu perbesaran 4x dan 10x.

1. Pengukuran Diameter *Core* Kabel Serat Optik Plastik Tipe SH.4001-1.3 Menggunakan Analisis *Image Processing* dengan Metode Canny *Edge Detection* dengan Perbesaran Lensa Objektif 4x

Seperti yang dilakukan pada pengukuran menggunakan *imaging software* Image Raster, pada pengukuran menggunakan analisis *image processing* dengan metode Canny *edge detection* juga dilakukan kalibrasi nilai panjang tiap pixel pada citra. Kalibrasi nilai panjang tiap pixel pada citra ini juga dilakukan menggunakan citra mikrometer objektif. Analisis *image processing* juga dilakukan pada proses pengalibrasian ini seperti yang dijelaskan pada tahap analisis

data. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh
Tabel 4.4.

Tabel 4.4 merupakan nilai tiap piksel pada citra mikrometer objektif yang diambil dengan *Optilab Camera Microscope* menggunakan perbesaran lensa objektif 4x, setelah melalui proses deteksi tepi dengan operator Canny. Piksel dengan nilai 1 merupakan tepi atau garis dari mikrometer objektif. Nilai panjang tiap piksel pada suatu citra dapat diketahui dengan maka memperhatikan baris yang sama di citra mikrometer objektif. Hal ini dilakukan untuk mempermudah proses pengalibrasian. Berdasarkan Tabel 4.4 citra mikrometer objektif yang ditunjukkan pada piksel baris ke 26, kolom ke-75 sampai kolom ke-84 (10 piksel) merupakan 100 μm . Dengan demikian nilai panjang tiap piksel dapat diperoleh sebagai berikut:

$$10 \text{ piksel} = 100 \mu\text{m}$$

$$1 \text{ piksel} = \frac{100}{10} \mu\text{m} = 10 \mu\text{m} \quad (4.4)$$

Persamaan (4.4) menunjukkan nilai kalibrasi panjang tiap piksel pada citra mikrometer objektif yang diperoleh dengan menggunakan perbesaran lensa objektif 4x. Berdasarkan persamaan (4.4) dapat diketahui bahwa nilai panjang 1 piksel pada citra untuk penelitian menggunakan perbesaran lensa objektif 4x sama dengan 10 μm .

Berdasarkan Gambar 4.1 dapat diketahui bahwa *core* serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 diselimuti oleh *cladding*. Dari Gambar 4.1 pula dapat diketahui bahwa material dari *core* dan *cladding* berbeda. Analisis menggunakan *image processing* dengan metode *Canny edge detection* memberikan batasan yang jelas antara *core* dan *cladding* pada

serat optik plastik tipe SH.4001-1.3. Citra serat optik yang sudah dianalisis menggunakan metode *Canny edge detection*, kemudian ditampilkan nilai tiap pikselnya. Berdasarkan analisis data yang telah dilakukan, maka diperoleh Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Hasil Analisis Edge Detection Serat Optik Plastik SH.4001-1.3 Pada Perbesaran Lensa Objektif 4x

No	Kolom 1-18	Kolom 19-36	Kolom 37-54	Kolom 55-72	Kolom 73-90	Kolom 91-108	Kolom 109-126
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							
32							
33							
34							
35							
36							
37							
38							
39							
40							
41							
42							
43							
44							
45							
46							
47							
48							
49							
50							
51							
52							
53							
54							
55							
56							
57							
58							
59							
60							
61							
62							
63							
64							
65							
66							
67							
68							
69							
70							
71							
72							

Sesuai dengan teknik analisis data, citra serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 sudah dirotasi $52,12^\circ$ berlawanan arah jarum jam, sehingga proses pengukuran diameter *core*-nya pun lebih mudah dilakukan. Pengukuran diameter *core* serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 dapat memperhatikan Tabel 4.5 baris ke-18. *Core* serat optik plastik ditunjukkan pada kolom ke-14 sampai kolom ke-111 pada Tabel 4.5. Oleh karena itu, pengukuran diameter *core* serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 bisa dilakukan hanya dengan memperhatikan jumlah piksel mendatar pada baris yang sama. Misalnya pada baris ke-18 Tabel 4.5, *core* serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 terdiri dari 98 piksel horizontal. Berdasarkan persamaan (4.4) maka diameter *core* serat optik plastik SH.4001-1.3 pun dapat diketahui. Dalam penelitian ini, peneliti mengambil sampel citra serat optik plastik sebesar 124 x 52 piksel dari citra serat optik asli hasil pengamatan. Pengambilan sampel ini dilakukan dengan menggunakan metode *cropping* citra seperti yang dijelaskan pada teknik analisis data. Berdasarkan Tabel 4.5 dapat diketahui bahwa hasil deteksi tepi dari *core* serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 ini tidak memberikan nilai yang sama persis pada tiap baris untuk *core* serat optik plastik dalam setiap kolomnya. Hal tersebut memberikan nilai ketidakpastian dari hasil pengukuran diameter *core* serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 menggunakan analisis *digital image processing* dengan metode *Canny edge detection* ini. Tabel hasil perhitungan nilai diameter *core* serat optik

plastik SH.4001-1.3 menggunakan analisis *image processing* melalui Canny *edge detection* pada perbesaran lensa objektif 4x dapat dilihat pada Lampiran IV.

Berdasarkan analisis data yang telah dilakukan, hasil pengukuran diameter *core* serat optik plastik tipe SH.400-1.3 menggunakan *metode digital image processing* melalui metode Canny *edge detection* diperoleh nilai $(980 \pm 7) \mu\text{m}$.

2. Pengukuran Diameter Core Kabel Serat Optik Plastik Tipe SH.4001-1.3 Menggunakan Analisis *Image Processing* dengan Metode Canny *Edge Detection* dengan Perbesaran Lensa Objektif 10x

Sama seperti yang dilakukan pada pengukuran menggunakan perbesaran lensa objektif 4x, pada pengukuran diameter core serat optik plastik SH.4001-1.3 menggunakan perbesaran lensa objektif 10x juga dilakukan kalibrasi untuk nilai tiap pikselnya. Berdasarkan analisis data yang telah dilakukan, maka diperoleh Tabel 4.6.

[illegible]

1. *Pharmaceutical Innovation and the Role of Government*
 2. *The Impact of Patent Law on Drug Development*
 3. *The Role of Clinical Trials in Drug Approval*
 4. *The Importance of Post-Market Surveillance*
 5. *The Role of Regulatory Agencies in Drug Safety*
 6. *The Impact of Globalization on Drug Development*
 7. *The Role of Biotechnology in Drug Development*
 8. *The Importance of Patient Access to New Drugs*
 9. *The Role of Health Economics in Drug Policy*
 10. *The Impact of Drug Pricing on Public Health*
 11. *The Role of International Cooperation in Drug Regulation*
 12. *The Importance of Transparency in Drug Development*
 13. *The Role of Public-Private Partnerships in Drug Development*
 14. *The Impact of Digital Health on Drug Development*
 15. *The Role of Environmental Factors in Drug Development*
 16. *The Importance of Ethical Considerations in Drug Development*
 17. *The Role of Social Determinants of Health in Drug Development*
 18. *The Impact of Climate Change on Drug Development*
 19. *The Role of Cultural Differences in Drug Development*
 20. *The Importance of Quality Assurance in Drug Development*
 21. *The Role of Intellectual Property in Drug Development*
 22. *The Impact of Market Competition on Drug Development*
 23. *The Role of Consumer Behavior in Drug Development*
 24. *The Importance of Data Privacy in Drug Development*
 25. *The Role of Artificial Intelligence in Drug Development*
 26. *The Impact of Blockchain Technology on Drug Development*
 27. *The Role of Nanotechnology in Drug Development*
 28. *The Importance of Personalized Medicine in Drug Development*
 29. *The Role of Telemedicine in Drug Development*
 30. *The Impact of Virtual Reality in Drug Development*
 31. *The Role of Augmented Reality in Drug Development*
 32. *The Importance of Robotics in Drug Development*
 33. *The Role of 3D Printing in Drug Development*
 34. *The Impact of Bioprinting in Drug Development*
 35. *The Role of Organ-on-a-Chip in Drug Development*
 36. *The Importance of Microfluidics in Drug Development*
 37. *The Role of Lab-on-a-Chip in Drug Development*
 38. *The Impact of Nanomedicine in Drug Development*
 39. *The Role of Stem Cell Research in Drug Development*
 40. *The Importance of Gene Editing in Drug Development*
 41. *The Role of CRISPR in Drug Development*
 42. *The Impact of Synthetic Biology in Drug Development*
 43. *The Role of Bioinformatics in Drug Development*
 44. *The Importance of Systems Biology in Drug Development*
 45. *The Role of Computational Modeling in Drug Development*
 46. *The Impact of Data Mining in Drug Development*
 47. *The Role of Machine Learning in Drug Development*
 48. *The Importance of Deep Learning in Drug Development*
 49. *The Role of Reinforcement Learning in Drug Development*
 50. *The Impact of Generative Models in Drug Development*
 51. *The Role of Natural Language Processing in Drug Development*
 52. *The Importance of Sentiment Analysis in Drug Development*
 53. *The Role of Image Recognition in Drug Development*
 54. *The Impact of Speech Recognition in Drug Development*
 55. *The Role of Recommendation Systems in Drug Development*
 56. *The Importance of Fraud Detection in Drug Development*
 57. *The Role of Anomaly Detection in Drug Development*
 58. *The Impact of Risk Management in Drug Development*
 59. *The Role of Compliance in Drug Development*
 60. *The Importance of Quality Control in Drug Development*
 61. *The Role of Statistical Process Control in Drug Development*
 62. *The Impact of Six Sigma in Drug Development*
 63. *The Role of Lean Manufacturing in Drug Development*
 64. *The Importance of Total Quality Management in Drug Development*
 65. *The Role of Continuous Improvement in Drug Development*
 66. *The Impact of Benchmarking in Drug Development*
 67. *The Role of Best Practices in Drug Development*
 68. *The Importance of Innovation in Drug Development*
 69. *The Role of Creativity in Drug Development*
 70. *The Impact of Collaboration in Drug Development*
 71. *The Role of Communication in Drug Development*
 72. *The Importance of Leadership in Drug Development*
 73. *The Role of Teamwork in Drug Development*
 74. *The Impact of Motivation in Drug Development*
 75. *The Role of Accountability in Drug Development*
 76. *The Importance of Transparency in Drug Development*
 77. *The Role of Ethics in Drug Development*
 78. *The Impact of Social Responsibility in Drug Development*
 79. *The Role of Sustainability in Drug Development*
 80. *The Importance of Environmental Stewardship in Drug Development*
 81. *The Role of Community Engagement in Drug Development*
 82. *The Impact of Patient Advocacy in Drug Development*
 83. *The Role of Health Equity in Drug Development*
 84. *The Importance of Access to Care in Drug Development*
 85. *The Role of Quality Improvement in Drug Development*
 86. *The Impact of Patient Safety in Drug Development*
 87. *The Role of Clinical Research in Drug Development*
 88. *The Importance of Evidence-Based Medicine in Drug Development*
 89. *The Role of Health Economics in Drug Development*
 90. *The Impact of Drug Pricing in Drug Development*
 91. *The Role of International Trade in Drug Development*
 92. *The Importance of Global Health in Drug Development*
 93. *The Role of Public Health in Drug Development*
 94. *The Impact of Epidemiology in Drug Development*
 95. *The Role of Biostatistics in Drug Development*
 96. *The Importance of Clinical Epidemiology in Drug Development*
 97. *The Role of Health Services Research in Drug Development*
 98. *The Impact of Health Policy in Drug Development*
 99. *The Role of Health Law in Drug Development*
 100. *The Importance of Health Ethics in Drug Development*

Tabel 4.6 merupakan nilai tiap piksel pada citra mikrometer objektif yang diambil dengan *Optilab Camera Microscope* menggunakan perbesaran lensa objektif 10x, setelah melalui proses deteksi tepi dengan operator Canny. Sama seperti yang dilakukan pada kalibrasi menggunakan perbesaran lensa objektif dengan perbesaran 4x dan sesuai dengan persamaan (4.4) maka diperoleh nilai kalibrasi piksel untuk perbesaran 10x. Berdasarkan analisis data yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa nilai panjang 1 piksel pada citra untuk penelitian menggunakan perbesaran lensa objektif 10x sama dengan 3,125 μm .

Sama seperti pengukuran dengan perbesaran lensa objektif 4x, pengukuran diameter *core* serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 menggunakan deteksi tepi dengan operator Canny dengan citra yang diambil pada perbesaran lensa objektif 10x juga dilakukan proses *cropping* citra. Hal ini dilakukan untuk mempermudah peneliti dalam melakukan analisis data. Pada pengukuran diameter *core* serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 dengan perbesaran lensa objektif 10x, citra dipotong sebesar 30 x 445 piksel, sehingga diperoleh Tabel 4.7 sebagai berikut:

Tabel 4.7 Hasil Analisis Edge Detection Serat Optik Plastik SH4001.1.3 Dengan Perbesaran Lensa Objektif 30x



Nilai diameter core serat optik plastik SH.4001-1.3 dapat diketahui salah satunya dengan mencermati Tabel 4.7 pada kolom 50 sampai 352. Pada penelitian ini analisis data untuk menentukan diameter *core* serat optik plastik SH.4001-1.3 tidak hanya dilakukan pada satu baris pada kolom ke 50 sampai 353 Tabel 4.7, namun dilakukan pada semua sampel piksel pada citra yang telah dilakukan proses *cropping*. Perhitungan penentuan diameter *core* serat optik plastik SH.4001-1.3 dengan analisis *image processing* melalui metode Canny edge detection pada perbesaran lensa objektif 10x dapat dilihat pada Lampiran VI. Berdasarkan analisis data yang telah dilakukan, hasil pengukuran diameter *core* serat optik plastik tipe SH.400-1.3 menggunakan *metode digital image processing* melalui metode Canny *edge detection* dengan perbesaran lensa objektif 10x diperoleh nilai $(983 \pm 2) \mu\text{m}$.

C. Perbandingan Hasil Pengukuran Diameter Core Serat Optik Plastik Tipe SH.4001-1.3 Menggunakan *Imaging Software* Image Raster dengan Analisis *Image Processing* Melalui Metode Canny Edge Detection

Dalam penelitian ini pengukuran diameter *core* serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 dilakukan dengan dua metode. Metode yang pertama yaitu pengukuran langsung dengan *imaging software* dari Optilab, Image Raster. Pengukuran dengan metode pertama ini memberikan hasil diameter *core* serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 pada pengukuran

menggunakan perbesaran lensa objektif 4x dan 10x setelah dirata-rata menggunakan rata-rata berbobot yaitu sebesar $(983 \pm 7) \mu\text{m}$. Metode kedua yang dilakukan dalam pengukuran diameter *core* serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 yaitu menggunakan analisis *image processing* dengan metode *Canny edge detection*. Metode kedua memberikan hasil nilai diameter *core* serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 pada pengukuran menggunakan perbesaran lensa objektif 4x yaitu sebesar $(980 \pm 7) \mu\text{m}$, sedangkan pada pengukuran menggunakan perbesaran lensa objektif 10x yaitu $(983 \pm 2) \mu\text{m}$. Selanjutnya, dari hasil yang diperoleh dianalisa menggunakan rata-rata berbobot sehingga diperoleh nilai diameter *core* serat optik SH.4001-1.3 dengan metode *image processing* yaitu $(982 \pm 2) \mu\text{m}$. Berikut tabel hasil perbandingan pengukuran diameter *core* serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 dengan dua metode:

Tabel 4.8. Tabel Perbandingan Hasil Pengukuran Diameter *Core* Serat Optik Plastik SH.4001-1.3 dengan Dua Metode

Metode yang Digunakan	Hasil Pengukuran
<i>Imaging Software</i> Image Raster	$(982 \pm 6) \mu\text{m}$
Analisis <i>Image Processing</i> dengan Metode <i>Canny Edge Detection</i>	$(982 \pm 2) \mu\text{m}$
<i>Datasheet</i> SH.4001-1.3	980 μm

Berdasarkan dua metode tersebut dapat diketahui bahwa hasil pengukuran menggunakan pengukuran langsung dengan *imaging software* dari Optilab, Image Raster, tidak memberikan nilai yang sama persis

dengan hasil pengukuran menggunakan analisis *image processing* melalui metode *Canny edge detection*. Meskipun demikian, range hasil pengukuran menggunakan analisis *image processing* melalui metode *Canny edge detection* dengan *imaging software* Image Raster saling *overlap*. Pengukuran diameter *core* serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 menggunakan *imaging software* Image Raster tidak mampu memberikan informasi yang jelas dimana batas-batas antara *core* dan *cladding* serat optik plastik SH.4001-1.3. Oleh karena itu, ketika melakukan pengukuran diameter *core* serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 menggunakan *imaging software* Image Raster, peneliti hanya berusaha sebaik mungkin memprediksi batas antara *core* dan *cladding* serat optik plastik tipe SH.4001-1.3. Hal ini berbeda dengan pengukuran analisis *image processing* melalui metode *Canny edge detection*. Analisis *image processing* dengan metode *Canny edge detection* memberikan nilai 1 untuk tepi objek pada suatu citra. Oleh karena itu, metode yang kedua dalam pengukuran diameter *core* serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 ini memberikan batasan yang jelas antara *core* dan *cladding* pada serat optik plastik tipe SH.4001-1.3. Batasan-batasan tersebut dapat dilihat dari Tabel.4.2. Berdasarkan Tabel 4.2 dapat diketahui pada kolom ke 59 merupakan batas antara *core* dan *cladding* serat optik plastik tipe SH.4001-1.3. Apabila dicermati, pada kolom 15 baris ke-18 dalam Tabel 4.2 nilai piksel yang muncul yaitu 1. Artinya piksel sebelum kolom 15 merupakan *cladding* dan piksel setelah kolom 59 merupakan *core* serat

optik plastik tipe SH 4001-1.3. Dengan adanya batasan-batasan yang jelas antara daerah *core* dan *cladding*, maka hasil pengukuran diameter *core* serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 menggunakan analisis *image processing* melalui *Canny edge detection* dapat dikatakan relatif lebih akurat dibandingkan dengan pengukuran menggunakan *imaging software* Image Raster. Meskipun demikian, karena berbagai faktor dalam metode ini ada ketidakpastian hasil pengukuran seperti pada Tabel 4.5. apabila dicermati, maka penelitian diameter *core* serat optik plastik SH.4001-1.3 dapat dikatakan relatif mendekati dengan spesifikasi dari diameter *core* serat optik plastik SH.4001-1.3 yaitu 980 μm .

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengukuran diameter *core* serat optik plastik tipe SH.4001-1.3 dapat dilakukan dengan menggunakan analisis *image processing* melalui metode *Canny edge detection*. Pengukuran ini dilakukan dengan mengolah citra serat optik plastik SH.4001-1.3 yang ditangkap menggunakan *Optilab Camera Microscope*. Citra tersebut diubah ke format warna *grayscale*, kemudian dideteksi tepi dengan operator *Canny* menggunakan *software* Matlab R2013a. Selanjutnya, untuk mempermudah proses analisis, citra serat optik plastik SH.4001-1.3 yang sudah dideteksi tepi, dirotasi serta dilakukan proses *cropping*. Penentuan diameter *core* serat optik plastik SH.4001-1.3 dapat dilakukan dengan menghitung jumlah piksel horizontal citra serat optik plastik SH.4001-1.3 yang sudah di-*crop* kemudian mengalikannya dengan kalibrasi nilai tiap piksel pada citra.
2. Pengukuran diameter *core* serat optik plastik tipe SH-4001-1.3 pada *imaging software* Image Raster memberikan hasil $(982 \pm 6) \mu\text{m}$ sedangkan pengukuran menggunakan analisis *image processing* dengan metode *Canny edge detection* memberikan hasil $(982 \pm 2) \mu\text{m}$. Diameter *core* serat optik plastik tipe SH-4001-1.3 berdasarkan *datasheet* yaitu $980 \mu\text{m}$. Pengukuran dengan *digital image processing*

melalui metode *Canny edge detection* memberikan hasil yang relatif lebih akurat dibandingkan dengan pengukuran menggunakan *imaging software* Image Raster karena pengukuran menggunakan *digital image processing* melalui metode *Canny edge detection* memberikan batasan-batasan yang jelas tentang tepi antara *core* dan *cladding*.

B. SARAN

1. Pada penelitian ini hanya digunakan serat optik plastik SH.4001-1.3 sebagai objek penelitian. Selanjutnya dengan metode yang sama dapat dilakukan penelitian dengan objek lain untuk memvalidasi hasil pengukuran objek yang berukuran mikrometer.
2. Dalam melakukan pengambilan data citra serat optik plastik SH.4001-1.3 menggunakan mikroskop cahaya yang terhubung dengan *Optilab Camera Microcope* sebaiknya dilakukan dengan intensitas cahaya yang tepat serta jarak meja benda dengan lensa objektif diatur sedemikian rupa sehingga dapat diperoleh citra serat optik SH.4001-1.3 yang fokus dan tepat untuk dianalisis. Dalam penelitian ini, intensitas cahaya pada mikroskop serta jarak antara meja benda mikroskop dengan lensa objektif berpengaruh terhadap kualitas citra yang diperoleh dalam penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

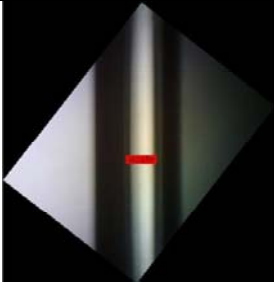
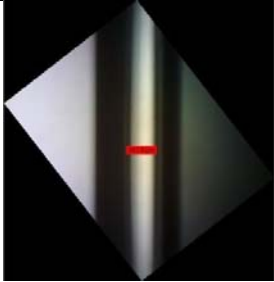
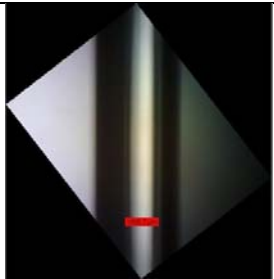
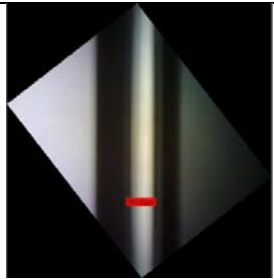
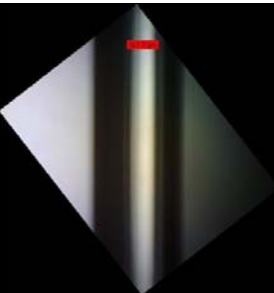
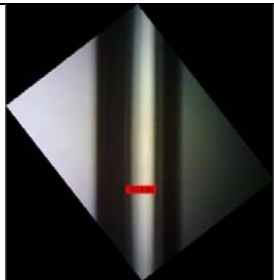
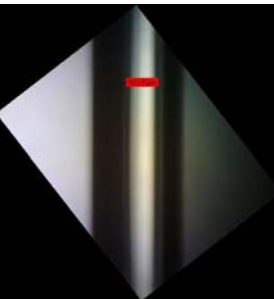
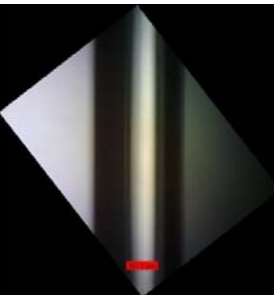
- Abramowitz, Mortimer. 2003. *MICROSCOPE Basics and Beyond REVISED EDITION* 2003. New York: Olympus America Inc.
- Ahmad, Usman. 2005. *Pengolahan Citra Digital dan Teknik Pemrogramannya Edisi Pertama*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Alkautsar Adhitiya dan Suprijadi. 2012. *Studi Pengukuran Konstanta Pegas dengan Pengolahan Citra*. Bandung: Fisika ITB
- Amiratno, Robert J. and Tortora Gerard J. 2013. *ANATOMY AND PHYSIOLOGY LABORATORY MANUAL Seventh Edition*. Toronto: Cengage Learning.
- Ann. *Spesification Sheet SH.4001*. Diakses melalui <http://i-fiberoptics.com/pdf/sh4001.pdf> pada hari Senin 6 November 2017 pukul 10.27 WIB
- Ann. *Sekilas Palapa Ring I*. Diakses melalui <https://kominfo.go.id> pada hari Minggu 3 September 2017 pukul 16.15 WIB
- Booth, Andrew D. 1957. *The Measurement of Numerical Aperture*. Rheinbach: University of Bonn
- Canny, J., 1986. *A Computational Approach to Edge detection*. IEEE Trans.Pattern Anal.Machine Intell. 8, pp 679-698.
- Crisp, John dan Elliott Barry. (2005). *Introduction to Fiber Optic Third Edition*. Oxford: Elsevier's and Science Technology Rights Departement.
- Davidson, Michael W. and Abramowitz, Mortimer. 2003. *Optical Microscopy*. Tallahassee: Florida State University
- Davies, E. R. 2012. *Computer and Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities Fourth Edition*. London: Elsevier. Inc
- Debosmit, Ray. 2003. *Edge Detection in Digital Image Processing*. Diakses melalui <https://sites.math.washington.edu> pada 22 Januari 2018 pukul 10.34 WIB
- Delfini, Claudio and Formica, Joseph V. 2001. *Wine Microbiology Science and Technology*. New York: Marcel Dekker. Inc.
- Djohan, N. 2009. *Soliton dalam Serat Optik*. Jakarta: Universitas Kristen Krida Wacana
- Dollár, P., Tu, Z., & Belongie, S. 2006. *Supervised Learning of Edge and Object*

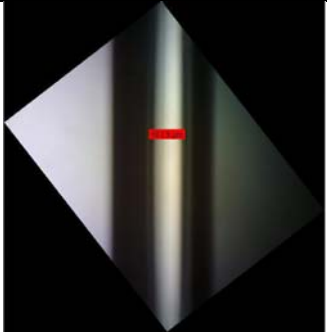
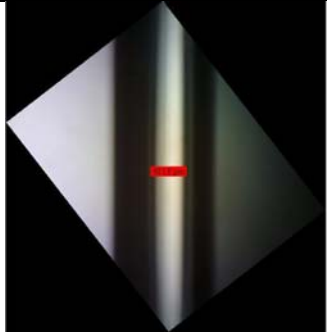
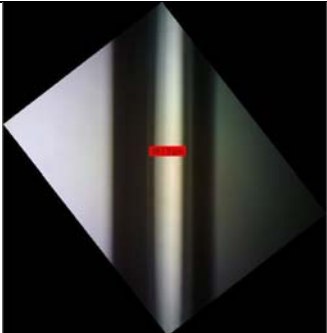
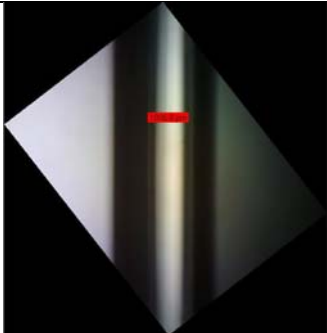
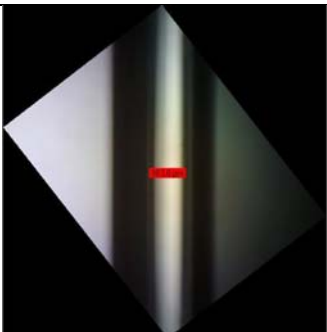
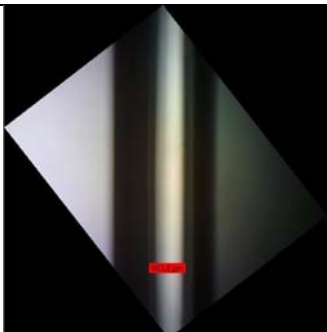
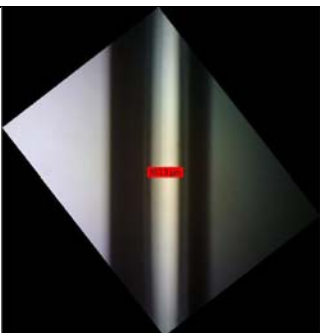
- Boundaries*. Proceedings of IEE Conference On Computer Vision and Pattern Recognition. 2. pp 1964-1971
- Efford, N. 2000. *Digital Image Processing a Practical Introduction Using Java*. Essex: Pearson Education Limited.
- Ferry A. C. and Perciano, T. 2013. *Introduction to Image Processing Using R Learning by Examples*. London: Springer.
- Gonzales, Rafael. C. and Woods, Richard E. 2002. *Digital Image Processing Using MATLAB*. New Jersey: Prentice Hall.
- Johnson, B. K. 1960. *OPTICS AND OPTICAL INSTRUMENTS*. New York: Dover Publication. Inc.
- Karthikeyani, V. 2007. *Conversion of Gray-scale image to Color Image With and Without Texture Synthesis. Internasional Journal of Computer Science and Network Security (IJCSNS)*. 4 . pp 11-16
- Keller, H. E. 1995. *Objective Lense For Confocal Microscopy*. Pp. 111-126 in the *Handbook of Biological Confocal Microscopy 2nd Edition*. New York: J. Pawley, ed.
- Kulkarni, A. D. (2001). *Computer Vision and Fuzzy Neural Sytems*. New Jersey: Prentice Hall.
- Leza, Yorashaki Marta. 2011. *Analisis Perencanaan Sistem Transmisi Serat Optik DWDM PT. Telkom Indonesia, Tbk Link Jakarta-Banten*. Jakarta: FT Universitas Indonesia
- Lindeberg, T. 2001. *Edge Detection*. Hazewinkel, Michiel, *Encyclopedia of Mathematics*, Springer, ISBN 978-1-55608-010-44
- Lou, Yanhua. *et al.* (2017). *Fabrication of Polymer Opticl Fibre (POF) Grating*. Jurnal Sensors. 10.3390/s17030511. Hlm 1-20
- Moller, Karl Dieter. 2002. *Optics Second Edition*. Newark: New Jersey Institute of Technology
- Munir, Rinaldi. 2004. *Pengolahan Citra Digital*. Bandung : Informatika
- Murphy Douglas, B. 2001. *FUNDAMENTALS OF LIGHT MICROSCOPY AND ELECTRONIC IMAGING*. New York: Wiley-Liss, Inc.
- Pedrotti, Frank L., Pedrotti, Leno M., and Pedrotti, Leno S. 2012. *Introduction to Optics Third Edition*. Cambridge: Pearson Prentice Hall.
- Putra, Darma. 2010. *Pengolahan Citra Digital*. Yogyakarta: Andi OFFSET.

- Piston, David W. 1998. *Concepts in Imaging and Microscopy Choosing Objective Lense: The Important of Numerical Aperture and Magnification in Digital Optical Microscopy*. Nashville: Departemen of Molecular Physiologi and Biophysics, Vanderbilt University
- Raith M. M., Raase P., & Reinhardt, J. 2012. *GUIDE TO THIN SECTION MICROSCOPY Second Edition*. Rheinbach: University of Bonn
- Ramadevi, Y., Sridevi, T., Poornima B., and Kalyani, B. 2010. *Segmentation and Object Recognition Using Edge Detection Techniques*. *International Journal of Computer & Information Technology (IJCSIT)*. 2. pp 153-161
- Rahsmi, Mukesh, Kumar, and Saxena Rohini. 2013. *Algorithm and Technniques On Various Edge Detection: A Survey*. *Signal & Image Processing: An International Journal (SIPIJ)*. 3. pp 65-75
- Rost, Fred and Oldfield Ron. 2012. *Photography With A Microscope*. Sydney: Cambridge University Press
- Suematzu, Y and Iga, K. 1982. *Introduction to Optical Fiber Communication*. New York: John Willey & Sons, Inc.
- Sushmasusik and Hayath Sikinder. 2015. *History of Microscopes*. Diakses melalui www.indianjournal.com pada hari Jumat, 1 November 2017 pukul 16.42 WIB
- Solomon, Chrish and Breckson, Toby. 2011. *Fundamental of Digital Image Processing*. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.
- X Zhou and SC Wong. 2006. *Informatics Challenges of High-Throughput Microscopy*. *IEEE Signal Processing Magazine*

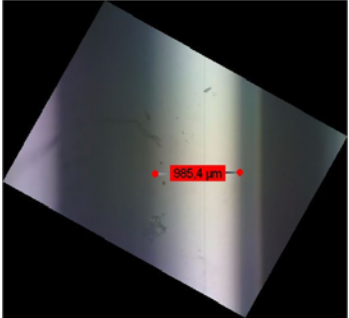
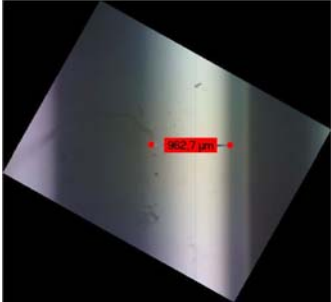
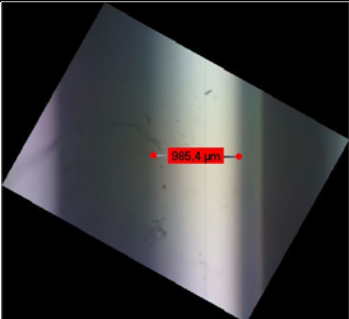

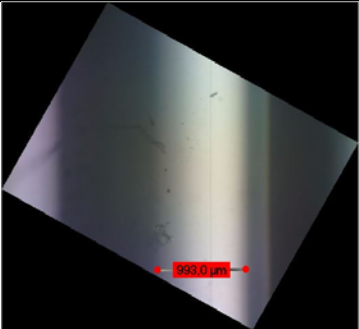
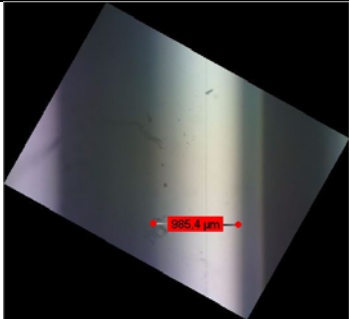
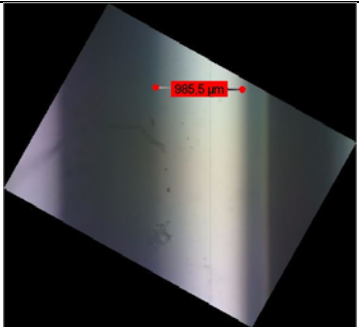
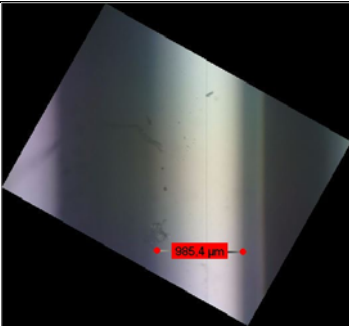
LAMPIRAN

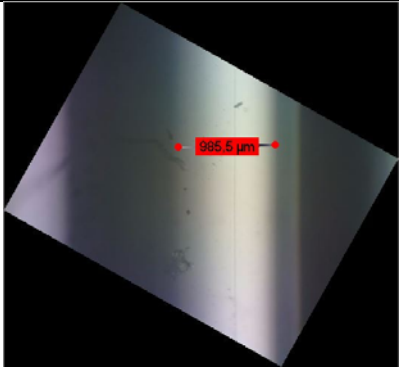
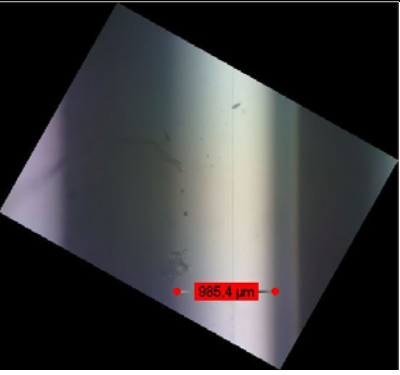
Lampiran I. Pengukuran Berulang Diameter *Core* Serat Optik Plastik SH.4001-1.3 Menggunakan *Software Imaging* Image Raster Pada Perbesaran Lensa Objektif 4x

1.		9.	
2.		10.	
3.		11.	
4.		12.	

5.		13.	
6.		14.	
7.		15.	
8.			

Lampiran II. Pengukuran Berulang Diameter *Core* Serat Optik Plastik SH.4001-
1.3 Menggunakan *Software Imaging Image Raster* Pada Perbesaran
Lensa Objektif 10x

1.		6.	
2.		7.	
3.		8.	
4.		9.	

5.	 <p>A micrograph showing a textured surface of a material. A red dimension line is drawn horizontally across the center, with the text "985.5 μm" in red.</p>	10.	 <p>A micrograph showing a textured surface of a material. A red dimension line is drawn horizontally across the center, with the text "985.4 μm" in red.</p>
----	--	-----	---

LAMPIRAN III. TABEL HASIL KALIBRASI NILAI PIKSEL CITRA MIKROMETER OBJEKTIF DENGAN PERBESARAN LENS OBJEKTIF 4X

The image displays a 100x100 pixel grid, partitioned into four 25x25 quadrants. Each quadrant is labeled at the top with a column range: 'Column 1-25', 'Column 26-50', 'Column 51-75', and 'Column 76-100'. The grid is filled with a complex, abstract pattern of green and white pixels. A prominent horizontal red line runs across the middle of the grid, separating the top and bottom halves. The pattern appears to be a stylized representation of a landscape or a digital artwork, with green pixels forming the main structure and white pixels providing contrast. The overall effect is a dense, textured composition that changes as the viewer's perspective shifts.

Lampiran IV. Tabel Perhitungan Nilai Diameter *Core* Serat Optik Plastik
SH.4001-1.3 Menggunakan Analisis *Canny Edge Detection* Pada
Perbesaran Lensa Objektif 4x

Baris ke	Jumlah piksel	Hasil kalibrasi tiap piksel (μm)	d (μm)	$ d - \bar{d} $	$ d - \bar{d} ^2$
1	97	10	970	10,1932	103,9013
2	97	10	970	10,1932	103,9013
3	98	10	980	0,1932	0,037326
4	97	10	970	10,1932	103,9013
5	98	10	980	0,1932	0,037326
6	98	10	980	0,1932	0,037326
7	98	10	980	0,1932	0,037326
8	98	10	980	0,1932	0,037326
9	98	10	980	0,1932	0,037326
10	98	10	980	0,1932	0,037326
11	97	10	970	10,1932	103,9013
12	98	10	980	0,1932	0,037326
13	97	10	970	10,1932	103,9013
14	99	10	990	9,8068	96,17333
15	98	10	980	0,1932	0,037326
16	99	10	990	9,8068	96,17333
17	98	10	980	0,1932	0,037326
18	99	10	990	9,8068	96,17333
19	98	10	980	0,1932	0,037326
20	98	10	980	0,1932	0,037326
21	97	10	970	10,1932	103,9013
22	98	10	980	0,1932	0,037326
23	98	10	980	0,1932	0,037326
24	98	10	980	0,1932	0,037326
25	97	10	970	10,1932	103,9013
26	98	10	980	0,1932	0,037326
27	98	10	980	0,1932	0,037326
28	98	10	980	0,1932	0,037326
29	98	10	980	0,1932	0,037326
30	99	10	990	9,8068	96,17333
31	97	10	970	10,1932	103,9013
32	98	10	980	0,1932	0,037326

33	98	10	980	0,1932	0,037326
34	98	10	980	0,1932	0,037326
35	99	10	990	9,8068	96,17333
36	99	10	990	9,8068	96,17333
37	98	10	980	0,1932	0,037326
38	99	10	990	9,8068	96,17333
39	97	10	970	10,1932	103,9013
40	98	10	980	0,1932	0,037326
41	98	10	980	0,1932	0,037326
42	99	10	990	9,8068	96,17333
43	99	10	990	9,8068	96,17333
44	97	10	970	10,1932	103,9013
45	99	10	990	9,8068	96,17333
46	99	10	990	9,8068	96,17333
47	97	10	970	10,1932	103,9013
48	97	10	970	10,1932	103,9013
49	99	10	990	9,8068	96,17333
50	99	10	990	9,8068	96,17333
51	98	10	980	0,1932	0,037326
52	98	10	980	0,1932	0,037326
$\bar{d} = 980,1293 \mu\text{m}$				$\sum d - \bar{d} ^2 = 2498,077 \mu\text{m}^2$	

➤ Perhitungan Ketidakpastian Pengukuran

$$\Delta d = \sqrt{\frac{\sum |d - \bar{d}|^2}{n-1}}$$

$$\Delta d = \sqrt{\frac{2498,077}{51}}$$

$$\Delta d = 6,998707 \mu\text{m}$$

- Hasil pengukuran diameter *core* serat optik plastik SH.4001-1.3 menggunakan analisis Canny *edge detection* pada perbesaran lensa objektif 4x adalah $(980 \pm 7) \mu\text{m}$

Lampiran VI. Tabel Perhitungan Nilai Diameter *Core* Serat Optik Plastik
SH.4001-1.3 Menggunakan Analisis *Canny Edge Detection* Pada
Perbesaran Lensa Objektif 10x

Baris ke	Jumlah piksel	Hasil kalibrasi tiap piksel (μm)	d (μm)	$ d - \bar{d} $	$ d - \bar{d} ^2$
1	314	3,125	981,25	1,875	3,515625
2	315	3,125	984,375	1,25	1,5625
3	314	3,125	981,25	1,875	3,515625
4	315	3,125	984,375	1,25	1,5625
5	315	3,125	984,375	1,25	1,5625
6	314	3,125	981,25	1,875	3,515625
7	313	3,125	978,125	5	25
8	315	3,125	984,375	1,25	1,5625
9	315	3,125	984,375	1,25	1,5625
10	315	3,125	984,375	1,25	1,5625
11	315	3,125	984,375	1,25	1,5625
12	315	3,125	984,375	1,25	1,5625
13	315	3,125	984,375	1,25	1,5625
14	315	3,125	984,375	1,25	1,5625
15	313	3,125	978,125	5	25
16	314	3,125	981,25	1,875	3,515625
17	314	3,125	981,25	1,875	3,515625
18	315	3,125	984,375	1,25	1,5625
19	314	3,125	981,25	1,875	3,515625
20	315	3,125	984,375	1,25	1,5625
21	314	3,125	981,25	1,875	3,515625
22	314	3,125	981,25	1,875	3,515625
23	315	3,125	984,375	1,25	1,5625
24	315	3,125	984,375	1,25	1,5625
25	315	3,125	984,375	1,25	1,5625
26	315	3,125	984,375	1,25	1,5625
27	315	3,125	984,375	1,25	1,5625
28	315	3,125	984,375	1,25	1,5625
29	315	3,125	984,375	1,25	1,5625
30	315	3,125	984,375	1,25	1,5625
$\bar{d} = 983,125 \mu\text{m}$				$\Sigma d - \bar{d} ^2 = 109,375 \mu\text{m}^2$	

- Perhitungan Ketidakpastian Pengukuran

$$\Delta d = \sqrt{\frac{\sum |d - \bar{d}|^2}{n-1}}$$

$$\Delta d = \sqrt{\frac{109,375}{29}}$$

$$\Delta d = 1,942048 \mu\text{m}$$

- Hasil pengukuran diameter *core* serat optik plastik SH.4001-1.3 menggunakan analisis Canny *edge detection* pada perbesaran lensa objektif 10x adalah $(983 \pm 2) \mu\text{m}$